

ELABORACIÓN DE LA ASIGNATURA ELECTIVA “DISEÑO DE EQUIPOS DE
INTERCAMBIO DE CALOR” PARA EL PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

PEDRO ALEJANDRO FELIPE BECERRA SIERRA
YESICA FERNANDA FLOREZ VILLABONA

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

2015

ELABORACIÓN DE LA ASIGNATURA ELECTIVA “DISEÑO DE EQUIPOS DE
INTERCAMBIO DE CALOR” PARA EL PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

PEDRO ALEJANDRO FELIPE BECERRA SIERRA

YESICA FERNANDA FLOREZ VILLABONA

Trabajo de Grado para optar al título de

Ingeniero Químico

Modalidad Práctica en Docencia

Director

Prof. FERNANDO VIEJO ABRANTE

Codirector

Prof: ARLEX CHAVES GUERRERO

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

2015

A mi madre por ser mi soporte y ejemplo a lo largo de estos años, porque sin ella nada de esto hubiera sido posible, ni la mitad de gratificante.

Yesica Florez

A mis padres que han estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome, y dándome fortaleza para continuar a lo largo de mi vida, han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto que se me presenta sin dudar ni un solo momento en mis capacidades, es por ellos que soy lo que soy ahora.

A mi tía María C. Becerra que ha sido mi consejera durante estos años, y a la que admiro y respeto por su gran sabiduría

Pedro Becerra

Finalmente le agradecemos al profesor Fernando Viejo por darnos la oportunidad de trabajar con él, y por su paciencia y asesoría durante este largo camino, gracias a él podemos entregar con orgullo este trabajo el día de hoy.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVOS	13
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2. ALCANCE	14
3. DESARROLLO CURRICULAR DEL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA	15
3.1 PERFIL DEL ESTUDIANTE MATRICULADO	15
3.2 PROPÓSITOS DE LA ASIGNATURA	16
3.3 CONTENIDO DE LA ASIGNATURA	16
4. DESARROLLO DEL LIBRO GUÍA DE LA ASIGNATURA	18
4.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	18
4.2 CONTENIDO DEL LIBRO GUÍA DE LA ASIGNATURA	18
5. DESARROLLO DEL LIBRO GUÍA DEL LABORATORIO DE PRÁCTICAS Y TALLER DE SIMULACIÓN	21
5.1 DESARROLLO DE LAS GUÍAS DEL LABORATORIO DE PRÁCTICAS	21
5.2 DESARROLLO DE LA GUÍA DEL TALLER DE SIMULACIÓN	25
6. CONCLUSIONES	28
7. RECOMENDACIONES	29
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	30
BIBLIOGRAFÍA	31
ANEXOS	33

TABLA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. PROGRAMA DE LA ASIGNATURA: DISEÑO DE EQUIPOS DE INTERCAMBIO DE CALOR.....	33
ANEXO B. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO DE INTERCAMBIO DE CALOR BME 400 S, ADQUIRIDO POR LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.	43

RESUMEN

TÍTULO: ELABORACIÓN DE LA ASIGNATURA ELECTIVA “DISEÑO DE EQUIPOS DE INTERCAMBIO DE CALOR” PARA EL PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER*

AUTORES: PEDRO ALEJANDRO FELIPE BECERRA SIERRA, YESICA FERNANDA FLOREZ VILLABONA**

PALABRAS CLAVES: Diseño, Equipos, Intercambio de calor, Asignatura electiva, Intercambiadores de calor.

DESCRIPCIÓN:

La Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander (UIS) en sus continuos cambios por lograr una formación adecuada de sus egresados, ha buscado a través de los años incluir, dentro de su programa académico, nuevas asignaturas con el fin de ofrecer alternativas de profundización en diferentes temas que estén relacionados con la Ingeniería Química. Debido, entonces, a la gran importancia que presentan los equipos de intercambio de calor a escala industrial, en la vida del ingeniero químico y la necesidad de formar profesionales que comprendan la estructura y funcionamiento de los mismos, la Escuela de Ingeniería Química ideó la creación de una asignatura denominada “Diseño de Equipos de Intercambio de Calor”. Este proyecto pretende la creación de una asignatura que capte la atención de las personas interesadas en adquirir o reforzar conocimientos sobre el diseño de equipos de intercambio de calor, ya sea por satisfacción personal o como bases para su vida académica o profesional. En esta asignatura se tratarán temas desde la clasificación de los equipos de intercambio hasta el diseño térmico de los mismos, y se ofertará como asignatura electiva dentro del pensum de pregrado en Ingeniería Química. Dicha asignatura presentará una carga académica de 3 créditos e intensidad horaria presencial de 3 horas semanales.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Dr. Fernando Viejo Abrante. Codirector: Dr. Arlex Chaves Guerrero.

ABSTRACT

TITLE: ELABORATION OF THE ELECTIVE COURSE “HEAT TRANSFER EQUIPMENT DESIGN” FOR THE CHEMICAL ENGINEERING PROGRAM OF THE INDUSTRIAL UNIVERSITY OF SANTANDER *

AUTHORS: PEDRO ALEJANDRO FELIPE BECERRA SIERRA, YESICA FERNANDA FLOREZ VILLABONA **

KEY WORDS: Design, equipment, Heat transfer, Elective Course, Heat exchangers.

DESCRIPTION:

The Chemical Engineering School at the Industrial University of Santander (UIS) in its continuous changes to ensure the appropriate formation of its graduates, has searched through the years the inclusion of new courses within its academic program with the purpose of deepen in some topics. These new topics provide more choices to help the students improve their knowledge on different fields of Chemical Engineering. Due to the importance of the heat transfer equipment on an industrial scale, in chemical engineer's life, and the necessity to educate professionals that understand the structure and performance of those exchangers, the Chemical Engineering School devised the creation of a new course named “Heat Transfer Equipment Design”. The goal of the present project is the creation of this course. The elective course aims draw the attention of people interested in acquire or strengthen their knowledge about heat transfer equipment design, it does not matter if they do it for personal interest or in order to have a basic knowledge in their academic or professional life. In this course topics will be covered from the classification of heat transfer equipment to heat transfer thermal design, and will be offered as an elective within the curriculum of undergraduate Chemical Engineering. This course will provide an academic intensity of 3 credits and will require 3 hours of study per week.

* Bachelor thesis

** Physic-chemist Engineering Faculty. Chemical Engineering School. Director: Dr. Fernando Viejo Abrante. Codirector: Dr. Arlex Chaves Guerrero.

INTRODUCCIÓN

La Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander en sus continuos cambios por lograr una adecuada formación de sus egresados, ha buscado en los últimos años incluir, dentro de su programa académico de pregrado, nuevas asignaturas con el fin de ofrecer alternativas de profundización en diferentes áreas relacionadas con la Ingeniería Química, tales como biotecnología, nanotecnología, entre otros. En este sentido, y a partir de un estudio realizado dentro del claustro de profesores de la escuela, se identificó una falencia en la formación del estudiante de últimos semestres de pregrado (novenodécimo) en el conocimiento y diseño de equipos de intercambio de calor.

Actualmente, dentro del pensum de pregrado en Ingeniería Química sólo se aborda en las asignaturas de “Fenómenos de Transporte I” y “Fenómenos de Transporte II” (quinto y sexto semestre respectivamente), el análisis de los diferentes mecanismos de transferencia de calor, más no se presenta el diseño de los equipos destinados para este fin. El problema se observó en la asignatura de “Análisis de Procesos Químicos” (novenno semestre) donde el estudiante debe, en principio, recurrir a los conocimientos adquiridos en equipos de intercambio de calor para realizar el diseño de sistemas de integración energética. Para solucionar esta problemática de modo temporal, inicialmente se propuso impartir en la asignatura de “Síntesis y Análisis de Procesos Químicos” (octavo semestre), un capítulo específico destinado a la clasificación y diseño de equipos de intercambio de calor. Sin embargo, debido a lo extenso del programa de dicha materia, en ocasiones es necesario sacrificar dicho capítulo y, en el caso de haber tiempo suficiente para explicarlo, se hace de una forma muy general y con muy poca intensidad horaria (de 6 a 8 horas promedio).

Se tuvo en cuenta además la experiencia de los estudiantes de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander en el examen ECAES Saber Pro, donde el tema de equipos de intercambio de calor tiene un gran peso en la sección de

“Diseño de Procesos Industriales – Formulación de Proyectos de Ingeniería – Pensamiento Científico Química”, ya que dichos equipos están integrados en la mayor parte de los procesos industriales.

Debido, entonces, a la gran importancia que presentan dichos equipos a escala industrial y la necesidad de formar profesionales que comprendan la estructura y funcionamiento de los mismos, la Escuela de Ingeniería de Química bajo la dirección del Dr. Dionisio Laverde y en colaboración con el Dr. Fernando Viejo idearon la creación de una asignatura denominada “**Diseño de Equipos de Intercambio de Calor**” donde se tratará desde la clasificación de los equipos de intercambio hasta el diseño térmico de los mismos, y que se ofertará como asignatura electiva dentro del pensum de pregrado en Ingeniería Química.

Basado en lo anterior, la presente práctica en docencia consistió en elaborar dicha asignatura enfocando el trabajo en tres componentes principales: i) El primer componente consiste en la elaboración de un programa de la materia enfocada al perfil del estudiante en Ingeniería Química; ii) A partir elaboración de dicho programa se elaboró un libro guía que servirá de apoyo tanto para profesor como para estudiantes y que cubre los temas tratados en las clases presenciales; iii) El último componente consta de dos tipos de guías (laboratorio práctico y taller de simulación), destinados a afianzar los conceptos adquiridos durante el transcurso del componente teórico y donde el estudiante se enfrentará a problemas de tipo industrial y que deberá afrontar en su vida laboral.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Elaborar una asignatura denominada “**Diseño de Equipos de Intercambio de Calor**” para ser ofertada como asignatura electiva dentro del pensum de pregrado en Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un programa del contenido de la asignatura electiva “Diseño de Equipos de Intercambio de Calor”.
- Elaborar un libro guía que sirva de referencia al docente y estudiantes durante el desarrollo de la asignatura.
- Elaborar un libro guía del laboratorio práctico y del taller de simulación con el propósito de reforzar los conocimientos teóricos adquiridos durante la asignatura.

2. ALCANCE

Este proyecto pretende la creación de una asignatura que capte la atención de los estudiantes interesados en adquirir conocimientos en el área de diseño de equipos de intercambio de calor, y adquirir experiencia en el uso de dichos equipos.

Para la asignatura de “**Diseño de equipos de intercambio de calor**” se propone inicialmente un grupo con una capacidad máxima de 60-80 estudiantes (2-3 grupos) como una asignatura electiva en el pensum de pregrado en Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander. La asignatura se distribuirá en clases teóricas, talleres, evaluaciones, laboratorios prácticos y taller de simulación, donde se tomará en cuenta la asistencia a las actividades mencionadas.

Después de asistir a la asignatura de “**Diseño de equipos de intercambio de calor**”, el estudiante de Ingeniería Química deberá alcanzar un conocimiento adecuado de los fundamentos de transferencia de calor y que le permita aplicarlo a la resolución de problemas que puedan presentarse durante el diseño de sistemas y equipos donde intervenga la transferencia de calor.

3. DESARROLLO CURRICULAR DEL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA

Partiendo de la necesidad de crear una asignatura para establecer la conexión entre las asignaturas de “Fenómenos de Transporte I”, “Fenómenos de Transporte II” y “Análisis de Procesos Químicos”, inicialmente se identificó el perfil del estudiante, para a continuación concretar los propósitos y contenidos del programa de la asignatura. Dicho programa se diseñó basado en un “perfil por competencias” del egresado de acuerdo a las nuevas directrices de la Vicerrectoría Académica de la Universidad y con base en los libros *Concepciones sobre competencias* [1] y *Estrategias de enseñanza y aprendizaje* [2] publicados por el Centro para el Desarrollo de la Docencia en la Universidad Industrial de Santander (CEDEUIS).

3.1 PERFIL DEL ESTUDIANTE MATRICULADO

El perfil del estudiante para el que se oferta la asignatura electiva es de un estudiante de la carrera de Ingeniería Química que posea conocimientos, habilidades y destrezas en las asignaturas del área de matemáticas, métodos numéricos, termodinámica, fenómenos de transporte, corrosión y materiales, y que desee adquirir conocimiento sobre el tema de diseño de equipos de intercambio de calor, ya sea por interés personal, como fundamento para la asignatura de “Análisis de Procesos Químicos” o preparación para su vida laboral. En este sentido, y después de consultar dentro del claustro de profesores, se decidió que el requisito para poder cursar la asignatura electiva sería haber aprobado la asignatura de “Fenómenos de Transporte II”, ya que es una asignatura de sexto semestre y, en principio, para entonces un estudiante nivelado debería tener los conocimientos suficientes de las áreas especificadas en el perfil del estudiante.

3.2 PROPÓSITOS DE LA ASIGNATURA

Los propósitos de la asignatura y que aparecen en el programa de la asignatura (ver Anexo A: “Programa de la Asignatura: Diseño de Equipos de Intercambio de Calor”) se listan a continuación:

- Repasar y ampliar los fundamentos básicos de transferencia de calor.
- Conocer la clasificación de los equipos de intercambio de calor.
- Analizar y resolver problemas de transferencia de calor que puedan presentarse dentro de la industria de procesos.
- Aprender la metodología de diseño de equipos y procesos de transferencia de calor en casos prácticos de interés industrial, asistido por herramientas de modelización, simulación y optimización.
- Aplicar e interpretar el código (TEMA) que establece los requerimientos mínimos para el diseño y fabricación de equipos de intercambio de calor.
- Diseñar sistemas y equipos de transferencia de calor eficientes teniendo en cuenta aspectos económicos, ambientales, de seguridad y de mantenimiento.

3.3 CONTENIDO DE LA ASIGNATURA

Para el diseño de la asignatura **“Diseño de Equipos de Intercambio de Calor”** adecuado para el perfil de un estudiante o egresado de Ingeniería Química, se consultaron diferentes programas de otras universidades nacionales e internacionales, así como de otras escuelas principalmente de ingeniería mecánica. Así mismo, se revisaron los contenidos de los principales libros tanto de diseño de equipos, como de fundamentos de intercambio de calor, para determinar cuáles deberían ser los temas a tratar para cumplir con los propósitos de la asignatura. Debido a la existencia de la asignatura “Sistemas Térmicos” del

programa de pregrado en Ingeniería Mecánica dentro de la Universidad, y las asignaturas “Fenómenos de Transporte I” y “Fenómenos de Transporte II” del programa de pregrado en Ingeniería Química, se debió realizar un filtro en el contenido inicial, con objeto de no interferir con el programa ofertado en dichas asignaturas. Durante el transcurso de la elaboración del programa de la asignatura, su contenido estuvo sujeto a varias modificaciones con el fin de proporcionar un orden lógico y claro en su estructura.

Una vez elaborado el primer borrador del contenido de la asignatura, éste fue revisado por el profesor Dr. Fernando Viejo para, a continuación, ser sometido a discusión (junto con el resto del programa) dentro del claustro de profesores, donde se realizaron diferentes observaciones y se recibieron varias sugerencias principalmente por parte de los profesores Dr. Ramiro Martínez y Dr. Crisóstomo Barajas. Las modificaciones pertinentes ya fueron realizadas. Actualmente el plan de estudios de la asignatura de “**Diseño de Equipo de Intercambio de Calor**” se encuentra en evaluación por parte del Consejo de Escuela de Ingeniería Química. Durante dicha sesión además se fijó como intensidad horaria de la asignatura 3 horas semanales presenciales con 6 horas de trabajo independiente por parte del estudiante para dar lugar a una asignatura con carga académica de 3 créditos y poder así adecuarse a la normativa de la escuela en cuanto a asignaturas electivas. Debido a esto fue necesario realizar un cronograma de la asignatura, para distribuir (de manera aproximada) las clases destinadas (intensidad horaria) a cada capítulo, teniendo en cuenta el peso e importancia de cada uno de ellos dentro de la formación de un estudiante de Ingeniería Química.

4. DESARROLLO DEL LIBRO GUÍA DE LA ASIGNATURA

4.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Una vez definidos los contenidos de la asignatura se recopilamos diferentes fuentes bibliográficas necesarias para la elaboración del libro guía (ver bibliografía consultada, Anexo A). Como fuentes de referencia se tomaron los libros de diseño de equipos como de fundamentos de intercambio de calor, siendo las principales referencias de apoyo los libros *Process Heat Transfer* [3], *Heat Exchanger Design Handbook* [4] y *Chemical Engineering Design, Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design* [5], que se pueden encontrar en la bibliografía del “Libro Guía de la Asignatura Diseño de Equipos de Intercambio de Calor”.

4.2 CONTENIDO DEL LIBRO GUÍA DE LA ASIGNATURA

El libro guía de la asignatura está compuesto de 6 capítulos que se describen a continuación:

Capítulo 1. Clasificación de equipos de intercambio de calor

En el primer capítulo se introduce al lector sobre el fundamento del equipo de intercambio de calor y a medida que avanza el capítulo se van explicando los diferentes equipos de intercambio de calor existentes y cómo se pueden clasificar dependiendo de su función o la necesidad que puedan satisfacer. Intensidad horaria: 4 horas.

Capítulo 2. Selección del tipo de equipos de intercambio de calor

Este capítulo abarca las consideraciones que se han de tener en cuenta a la hora de escoger un tipo de equipos de intercambio de calor. Las consideraciones tratadas son principalmente de requerimientos y límites en condiciones de operación, fabricación y arreglo del equipo, y son tanto de naturaleza cualitativa para los materiales y técnicas de fabricación, como cuantitativa para temperaturas y presiones de operación. Intensidad horaria: 4-6 horas.

Capítulo 3. Diseño de equipos de intercambio de calor

Este capítulo se centra en el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor (U) y los coeficientes locales de intercambio de calor (h), diferencia de temperatura media y efectividad térmica. Además, se proporcionan las diferentes consideraciones de diseño a tener en cuenta en un equipo de intercambio de calor tales como aislamiento térmico de equipos, control y prevención de la corrosión, etc. Intensidad horaria: 8-10 horas.

Capítulo 4. Equipos de intercambio de calor tubulares

El cuarto capítulo abarca el tema principal de la asignatura y tiene como propósito realizar una profundización en los equipos de intercambio de calor tubulares. Inicialmente, en el primer capítulo se habla de su clasificación, pero el contenido de este capítulo trata los métodos de diseño de los diferentes tipos de equipos de intercambio de calor tubulares, entre ellos los más usados en la industria, los equipos de intercambio de calor de tubos y carcasa. Intensidad horaria: 12-14 horas.

Capítulo 5. Equipos de intercambio de calor compactos

Una vez adquirido el conocimiento de los métodos de diseño térmico para los equipos de intercambio de calor tubulares, este capítulo presenta los equipos de intercambio de calor compactos a un nivel introductorio, mostrando sus ventajas, desventajas y generalidades. Además, presenta el método de diseño térmico para el equipo de intercambio de calor de placas de una manera homóloga al método presentado anteriormente en el capítulo 4. Intensidad horaria: 4-6 horas.

Capítulo 6. Otros tipos de equipos de intercambio de calor

Para finalizar la asignatura, se presentan otros tipos de equipos de intercambio de calor que son comúnmente encontrados en aplicaciones industriales a nivel introductorio, tratando su funcionamiento básico sin entrar en el diseño térmico, con el fin de que el estudiante tenga conocimiento de la existencia de otros equipos de intercambio de calor y, en caso de requerirlo, le sea facilitada la bibliografía adecuada para su consulta y pueda profundizar sobre el diseño particular de interés. Intensidad horaria: 4 horas.

Actualmente, el libro guía de la asignatura “**Diseño de Equipos de Intercambio de Calor**”, se encuentra en fase de revisión por parte del director del trabajo de grado. Se pretende posteriormente hacer su socialización con varios profesores de la Escuela de Ingeniería Química, afines al área, y el objetivo final será su posterior publicación por parte de la Universidad Industrial de Santander.

5. DESARROLLO DEL LIBRO GUÍA DEL LABORATORIO DE PRÁCTICAS Y TALLER DE SIMULACIÓN

5.1 DESARROLLO DE LAS GUÍAS DEL LABORATORIO DE PRÁCTICAS

Los laboratorios prácticos de la asignatura se crearon debido a la necesidad del estudiante de familiarizarse con un proceso de intercambio de calor real. Para ello se consultó acerca de los equipos de intercambio de calor con que contaba la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander hasta la fecha y su disponibilidad de operación, encontrando tres potenciales equipos que podrían ser destinados para el desarrollo de prácticas dentro de la asignatura: una caldera, una batería de calentamiento y un minievaporador. Por cuestiones de seguridad se decidió descartar la caldera como una posibilidad y se seleccionaron la batería de calentamiento y el minievaporador para el desarrollo de las prácticas y sus respectivos guiones.

Basándose en el proceso realizado en cada equipo y las posibles variables que se pueden manipular, se realizó la práctica correspondiente y el diseño de cada guía.

Es de aclarar que las prácticas de laboratorio de batería de calentamiento y minievaporador se tomaron de las prácticas impartidas en la asignatura de “Laboratorio de Procesos” para los estudiantes de Ingeniería Química en la modalidad de pregrado (noveno semestre) y fueron también implementadas en los dos últimos semestres académicos (Segundo Semestre 2013 y Primer Semestre 2014) en la asignatura de “Síntesis y Análisis de Procesos Químicos”, como parte del contenido de la asignatura para complementar la formación del estudiante y evaluar la respuesta del estudiante ante una situación real propuesta de intercambio de calor. Estas prácticas fueron realizadas con éxito por los estudiantes y además se pudo ir mejorando la práctica en sí, a medida que los estudiantes participaron en ellas. Se aclara que éstas sufrieron algunas

modificaciones para adecuarlas al perfil de la asignatura de Diseño de Equipos de Intercambio de Calor.

Para el desarrollo de la guía fue esencial determinar qué se esperaba de la práctica en sí con relación a los contenidos teóricos ofertados en la asignatura. Se quiso entonces que el estudiante estuviera en capacidad de determinar parámetros tales como calor transferido, eficiencia térmica, pérdidas de calor, coeficiente global de transferencia de calor, independientemente de la variable manejada en cada práctica. El cambio de variables además sirve para que el estudiante pueda analizar cómo puede afectar cada variable al proceso propuesto y permite evaluar si el estudiante es capaz de explicar qué sucede en el equipo con la modificación de la variable que se le acaba de presentar. Todo ello permitiría al estudiante alcanzar una visión real de cómo es el funcionamiento de un equipo de intercambio de calor. Además, el estudiante deberá realizar el análisis respectivo para cada práctica.

Queda a disposición de la persona encargada de dirigir el laboratorio, seleccionar la variable a analizar y el manejo que se quiera hacer de ella.

A continuación se presenta un resumen de cada práctica a realizarse en la asignatura:

Práctica Número 1. Minieaporador

El minieaporador que se va a emplear tiene como variables la presión de operación (8-12 psi) y la concentración del fluido a emplear (62,5-75 g/L), permitiendo realizar diferentes prácticas. Se mantiene fija una de las dos variables y se recomienda manipular la otra variable dentro del intervalo establecido. Se espera que el estudiante analice la transferencia de calor que ocurre en el equipo y vea la influencia del intercambio de calor en el funcionamiento del mismo para alcanzar el objetivo principal, que es concentrar la solución de azúcar, además de

afianzar los conceptos teóricos adquiridos con respecto al intercambio de calor.
Intensidad horaria: 2 horas.

Práctica Número 2. Batería de calentamiento

La batería de calentamiento que se va a emplear posee cuatro arreglos que permiten realizar diferentes prácticas. Estos son:

- Tanque con serpentín y convección forzada (agitación mecánica).
- Tanque con serpentín y convección forzada (recirculación).
- Intercambiador de calor con recirculación.
- Tanque con serpentín y convección libre.

Durante la práctica se reafirman los principios de transferencia de calor, determinando mediante los datos obtenidos, el coeficiente global de transferencia de calor (U), la pérdida total de calor y la eficiencia del equipo, además de analizar el comportamiento de las diferentes variables del sistema respecto al tiempo.
Intensidad horaria: 2 horas.

Por otro lado, basados en los diferentes laboratorios impartidos a lo largo de la carrera, y tomando en cuenta las diferentes normas de presentación de un informe técnico, se pudieron diseñar las plantillas para las guías del laboratorio de prácticas a realizar en la asignatura. A continuación se explica brevemente cuáles son las secciones que conforman estas guías:

- **Encabezado:** Se presenta el nombre de la universidad y escuela encargadas, junto con el nombre de la asignatura y posteriormente el nombre de la práctica.
- **Objetivo:** Indica al estudiante de manera clara y concisa qué se espera con la realización de la práctica de laboratorio.

- **Introducción:** Proporciona al estudiante un preámbulo teórico acerca de la práctica a realizar.
- **Marco teórico:** Proporciona al estudiante los fundamentos teóricos necesarios que deben ser fijados antes del desarrollo de la práctica.
- **Equipo de intercambio de calor a utilizar:** Presenta el equipo esencial para el desarrollo de la práctica, cómo está conformado y un esquema detallado de sus partes.
- **Procedimiento:** Describe de manera precisa el paso a paso de la práctica de laboratorio.
- **Resultados:** Es un espacio donde el estudiante podrá recopilar los datos obtenidos durante la práctica, para luego hacer uso de ellos cuando se lleve a cabo el análisis de los resultados.
- **Preguntas:** Se plantean preguntas para ayudar al estudiante a lograr una mejor comprensión de los datos obtenidos durante la práctica. En este ítem la persona encargada del laboratorio podrá evaluar si se alcanzaron los objetivos propuestos de la práctica por parte de los estudiantes.
- **Referencias bibliográficas:** Finalmente se listan las fuentes bibliográficas empleadas como apoyo para el diseño de la práctica, donde el estudiante podrá consultar los temas tratados en caso de duda.

Es de aclarar que, en la actualidad, la Escuela de Ingeniería Química se encuentra ejecutando un proyecto de modernización del Laboratorio de Operaciones Unitarias, dentro del cual se ha adquirido el equipo didáctico de intercambio de calor “BME 4000 S”, cuya hoja de especificaciones se presenta en el Anexo B, y que incluye cuatro tipos de equipos de intercambio de calor con tecnologías diferentes (Intercambiador monotubo en vidrio/Inox., Intercambiador de vidrio a haz tubular inox., Intercambiador inox a placas, Intercambiador de coraza vidrio y serpentín inox.), así como una unidad de combustión. Además el BME 4000 S permite el estudio de la influencia del régimen de flujo sobre la transferencia

térmica ya que este trabaja en régimen laminar o turbulento y en pro o contracorriente por lo que en un futuro próximo se espera que el número de prácticas ofertadas dentro del programa de la asignatura se vea incrementado significativamente.

5.2 DESARROLLO DE LA GUÍA DEL TALLER DE SIMULACIÓN

Para la elaboración de la guía de simulación se preparó inicialmente una introducción a las normas TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association), con la intención de que el estudiante sea capaz de reconocer la nomenclatura de producción de los componentes estándar de los equipos de intercambio de calor industriales. Esto es debido a que los programas de simulación de equipos de intercambio de calor rigurosos requieren de especificaciones técnicas bajo dichas normas.

Para la elaboración de las guías de simulación, se plantearon varios problemas de tipo industrial, de los cuales se escogieron los más adecuados para cumplir con el objetivo del componente práctico de la asignatura. El programa de simulación PRO II fue escogido debido a su simplicidad en el ambiente de simulación, y sus amplias opciones para el diseño de un equipo de intercambio de calor riguroso.

El objetivo principal del componente de simulación se centró en la capacidad del estudiante para detectar fallos en un diseño existente, identificar las variables más importantes que ocasionen dicho fallo, y proponer soluciones dentro de los límites en un caso real (no plantear soluciones que incluyan cambiar el equipo completamente). El componente de simulación se dividió en dos partes:

La primer parte es un diseño de un equipo de intercambio de calor tubular, con todas las especificaciones técnicas requeridas para su simulación. Al estudiante se le impone una restricción en la caída de presión máxima que se puede permitir

tanto en los tubos como en la carcasa del equipo de intercambio de calor, teniendo en cuenta que la caída de presión es de los problemas más comunes en esta operación industrialmente. De esta manera, debe realizar la simulación, comprobar si cumple la restricción y, en caso de no hacerlo, realizar un análisis cualitativo de la situación, proponer modificaciones al diseño original y aplicarlas en la simulación.

Esta primera parte se realiza con el propósito de que el estudiante aplique los conceptos dados en el transcurso de la asignatura y con ellos tenga la capacidad propositiva en el tema. El equipo de intercambio de calor tubular propuesto está basado en un ejemplo de diseño por el método de Kern tomado del libro *Chemical Engineering Design, Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design* [5]. El equipo de intercambio de calor fue simulado con las especificaciones adecuadas, las cuales pueden variar según el diseñador para tener los resultados de referencia. Posteriormente, se realizaron cambios abruptos en éste, con el fin de salirse de las restricciones entregadas al estudiante.

Una vez realizados los cambios necesarios para cumplir los límites en la caída de presión, el estudiante deberá realizar el diseño manualmente por el método de Kern (método de diseño tratado en la asignatura debido a su simplicidad en los cálculos a mano) y compararlo con los resultados de la simulación (los cuales se realizan por el método de Bell, el cual tiene en cuenta más factores considerables en los cálculos), explicando las diferencias en los resultados obtenidos por ambos métodos a través de un acercamiento cualitativo.

La segunda parte del componente de simulación es un análisis de las especificaciones de fabricación y operación sobresalientes de un equipo de intercambio de calor tubular. Para este caso se trató el grosor de la capa de ensuciamiento y el porcentaje de corte de los deflectores (baffles). Ya que el efecto de estos parámetros no se puede apreciar fácilmente en el proceso matemático (no es práctico realizar el método completo manualmente para

muchos valores), el estudiante deberá modificar el valor de dichos parámetros y reportar de la manera más conveniente su efecto en el equipo de intercambio de calor (coeficiente global de transferencia (U), área de intercambio requerida y número de tubos).

Es de aclarar que, para la correcta realización de las simulaciones, el profesor de la materia deberá realizar previamente un taller a nivel introductorio del programa de simulación PRO II para asegurarse que los estudiantes estén en capacidad de utilizar correctamente las funciones proporcionadas por el simulador.

6. CONCLUSIONES

- Se elaboró el programa de la asignatura electiva “**Diseño de Equipos de Intercambio de Calor**” ofertado a estudiantes de pregrado de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander, conformado por 6 capítulos principales teóricos, y un componente práctico y de simulación. Dicha asignatura presentará una carga académica de 3 créditos e intensidad horaria presencial de 3 horas semanales. El requisito para su matriculación será haber aprobado la asignatura “Fenómenos de Transporte II” previamente.
- Se elaboró un libro guía conformado por seis capítulos teóricos principales que servirá de consulta tanto para el docente encargado de impartir la asignatura, como para cualquier estudiante de Ingeniería Química y afines, interesado en adquirir o reforzar conocimiento en el campo de diseño de equipos de intercambio de calor.
- Se elaboró un libro guía del laboratorio práctico y del taller de simulación, con lo que se logra que la asignatura tenga un enfoque práctico además de teórico, sirviéndole de soporte al docente encargado para aplicar y reforzar los conceptos tratados durante el desarrollo de la asignatura.
- La elaboración de la asignatura de “**Diseño de equipo de intercambio de calor**” sirve como base para la futura creación de otras asignaturas que tengan como objetivo profundizar en temas de gran importancia en la formación del ingeniero químico como profesional, pero que no puedan ser abarcados por el pensum en el momento.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar el número de prácticas de laboratorio de acuerdo a las posibilidades de uso del intercambiador térmico “BME 4000 S” especificado en el Anexo B. De particular interés sería realizar prácticas enfocadas al cálculo de coeficientes de transferencia de calor en tuberías a diferentes regímenes de flujo, ya que estos son fundamentales en el diseño de equipos de intercambio de calor

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1]. CORREDOR M., Martha; PÉREZ A., Martha y ARBELÁES L., Ruby. Concepciones sobre competencias. Colombia: Universidad Industrial de Santander, Centro para el desarrollo de la docencia en la Universidad Industrial de Santander, CEDEUIS; 2009. 132 p.
- [2]. CORREDOR M., Martha; PÉREZ A., Martha y ARBELÁES L., Ruby. Estrategias de enseñanza y aprendizaje. Colombia: Universidad Industrial de Santander, Centro para el desarrollo de la docencia en la Universidad Industrial de Santander, CEDEUIS; 2009. 239 p.
- [3]. KERN, Donald Q. Procesos de transferencia de calor. México D.F.: Editorial Continental S.A., 1965. 980 p.
- [4]. KUPPAN, Thulukkanam. Heat exchanger design handbook. Estados Unidos: Marcel Dekker, 2000. 1119 p.
- [5]. TOWLER, Gavin y SINNOTT, Ray. Chemical engineering design, principles, practice and economics of plant and process design. Estados Unidos: Elsevier, 2008. 1242 p.
- [6]. PIGNAT S.A.S. Procesos y enseñanza, catálogo de equipos de intercambio térmico [En línea]. [Francia] [Citado en 28 de enero de 2015] Disponible en: <<http://www.pignat.com/default.aspx?idwsgpage=7&idwsglangue=1&idwsgmodulecataloguecategorie=10>>

BIBLIOGRAFÍA

BERGMAN, Theodore L., *et al.* Fundamentals of heat and mass transfer. 7 ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc., 2011. 1048 p.

CORREDOR M., Martha; PÉREZ A., Martha y ARBELÁES L., Ruby. Concepciones sobre competencias. Colombia: Universidad Industrial de Santander, Centro para el desarrollo de la docencia en la Universidad Industrial de Santander, CEDEUIS; 2009. 132 p.

CORREDOR M., Martha; PÉREZ A., Martha y ARBELÁES L., Ruby. Estrategias de enseñanza y aprendizaje. Colombia: Universidad Industrial de Santander, Centro para el desarrollo de la docencia en la Universidad Industrial de Santander, CEDEUIS; 2009. 239 p.

COUPER, James R., *et al.* Chemical Process Equipment. Selection and Design. 2 ed. Estados Unidos: Elsevier, 2005. 814 p.

HOLMAN, J.P. Transferencia de calor. México D.F.: McGraw Hill Book Company, Inc., 1999. 621p.

KERN, Donald Q. Procesos de transferencia de calor. México D.F.: Editorial Continental S.A., 1965. 980 p.

KUPPAN, Thulukkanam. Heat exchanger design handbook. Estados Unidos: Marcel Dekker, 2000. 1119 p.

LEVENSPIEL, Octave. Flujo de fluido e intercambio de calor. España: Editorial Reverté S.A., 1993. 373 p.

PIGNAT S.A.S. Procesos y enseñanza, catálogo de equipos de intercambio térmico [En línea]. [Francia] [Citado en 28 de enero de 2015] Disponible en: <<http://www.pignat.com/default.aspx?idwsgpage=7&idwsglangue=1&idwsgmodulecataloguecategorie=10>>

SEIDER, Warren D.; SEADER, J. D. y LEWIN, Daniel R. Product & Process Design Principles: Synthesis, Analysis, and Evaluation. 2 ed. Estados Unidos: John Wiley. 2004. 802 p.

SHAH, Ramesh K. y SEKULIC, Dusan. Fundamentals of heat exchanger design. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc. 2003. 941 p.

SMITH, Robin. Chemical Process Design and Integration. Inglaterra: John Wiley & Sons, Inc., 2005. 686 p.

TOWLER, Gavin y SINNOTT, Ray. Chemical engineering design, principles, practice and economics of plant and process design. Estados Unidos: Elsevier, 2008. 1242 p.

ANEXOS

ANEXO A. PROGRAMA DE LA ASIGNATURA: DISEÑO DE EQUIPOS DE INTERCAMBIO DE CALOR.



FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

INFORMACIÓN GENERAL

ASIGNATURA:	DISEÑO DE EQUIPOS DE INTERCAMBIO DE CALOR	
CÓDIGO:	XXXXX	
SEMESTRE:	X SEMESTRE 20XX	
NÚMERO DE CREDITOS:	3	
HORARIO:	CLASES:	CONSULTA:
SALÓN:	XXXX (IQ)	
INTENSIDAD HORARIA:	TAD: 3 HORAS	TI: 6 HORAS
PROFESOR:	XXXXXXXXXX	OFICINA: XXX
REQUISITOS:	FENÓMENOS DE TRANSPORTE II	

JUSTIFICACIÓN

La asignatura de Diseño de Equipos de Intercambio de Calor aporta al perfil del Ingeniero Químico los conocimientos fundamentales, herramientas y habilidades necesarios para desarrollar su capacidad de formular, gestionar, evaluar y administrar proyectos de diseño de equipo para transferencia de calor. Requiere de los conocimientos, habilidades y destrezas adquiridas en las asignaturas del

área de matemáticas, métodos numéricos, termodinámica, fenómenos de transporte, corrosión y materiales. Además es la base para el análisis y simulación de procesos químicos industriales. Después de cursar la asignatura de Diseño de Equipos de Intercambio de Calor, el estudiante de Ingeniería Química deberá alcanzar un conocimiento adecuado de los fundamentos de transferencia de calor y aplicarlo a la resolución de problemas que puedan presentarse durante el diseño de sistemas y equipos donde intervenga la transferencia de calor.

PROPÓSITOS

- Repasar y ampliar los fundamentos básicos de transferencia de calor.
- Conocer la clasificación de los equipos de intercambio de calor.
- Analizar y resolver problemas de transferencia de calor que puedan presentarse dentro de la industria de procesos.
- Aprender la metodología de diseño de equipos y procesos de transferencia de calor en casos prácticos de interés industrial, asistido por herramientas de modelización, simulación y optimización.
- Aplicar e interpretar el código (TEMA) que establece los requerimientos mínimos para el diseño y fabricación de los equipos de intercambio de calor.
- Diseñar sistemas y equipos donde intervenga la transferencia del calor de forma eficiente teniendo en cuenta aspectos económicos, ambientales, de seguridad y de mantenimiento.

PERFIL Y COMPETENCIAS DEL EGRESADO

El Ingeniero Químico es ante todo una persona de nuestro tiempo y, por tanto, su formación debe contribuir al desarrollo de las competencias, valores y actitudes del ciudadano moderno: respeto a los derechos humanos, acatamiento crítico a la Constitución y la Ley, autonomía y tolerancia para desarrollar su propia reflexión ética y sus potencialidades subjetivas en convivencia con otros y, relación con la naturaleza orientada a la conservación del ambiente.

El Ingeniero Químico es un profesional en un campo específico de la ingeniería y, por tanto, su formación debe contribuir al desarrollo de las competencias comunicativa, científica y tecnológica para que confluyan en la competencia para la investigación y el desarrollo tecnológico. Las actitudes y valores se enunciaron antes como desarrollos del hacer con fundamento en el saber.

En cuanto a las competencias, a continuación se hará descripción de las cognitivas, axiológicas y actitudinales del estudiante y egresado del programa de Ingeniería Química de la UIS.

- Competencias cognitivas: el estudiante y el egresado del programa de Ingeniería Química tendrán un conocimiento sólido, moderno y estructurado de los fundamentos que constituyen el núcleo de saberes de la Ingeniería Química, así como de las relaciones existentes entre los fundamentos teóricos y prácticos.
- Competencias axiológicas: el estudiante y el egresado del programa de Ingeniería Química tendrán la capacidad para discernir y tomar decisiones en un marco ético de relación de respeto por sí mismos, por el otro y por la naturaleza.
- Competencias actitudinales: El estudiante y el egresado del programa de Ingeniería Química tendrán la capacidad para enfrentar el mundo y los

problemas tecnológicos con apertura, capacidad propositiva, argumentativa y laboriosidad.

COMPETENCIAS DE LA ASIGNATURA

En este curso se espera contribuir al logro de las competencias generales que forman parte del perfil del egresado de la Escuela de Ingeniería Química. Las competencias que se trabajarán son las siguientes:

1. Diseña sistemas y equipos relacionados con la transferencia de calor en problemas relacionados con la industria química teniendo en cuenta aspectos económicos y de mantenimiento.

Niveles de logro:

- Conoce los fundamentos básicos de transferencia de calor.
- Identifica los equipos de intercambio de calor comúnmente empleados, entendiendo cuáles son sus aplicaciones, ventajas y limitaciones.
- Selecciona el equipo más adecuado para un tipo de intercambio de calor específico.
- Utiliza el código TEMA y recomendaciones prácticas de fabricantes para el diseño de equipos de intercambio de calor.
- Utiliza herramientas informáticas en el modelamiento, simulación y optimización de sistemas térmicos.
- Conoce la metodología para el diseño térmico de equipos de intercambio de calor de tubos y carcasa.
- Modela sistemas y equipos de intercambio de calor que cumplan una función específica dentro de problemas relacionados con la industria química.

2. Construye su propio conocimiento desde una perspectiva humana y social respetando los preceptos de convivencia, sostenibilidad y protección del ambiente.

Niveles de logro:

- Identifica los compromisos de eficiencia energética, de seguridad y medioambiental que se deben tener en cuenta durante el diseño de un sistema o equipo de intercambio de calor.
- Aplica técnicas de simulación y optimización para evaluar los requerimientos de energía.
- Diseña sistemas y equipos de intercambio de calor considerando dichos compromisos.

3. Reconoce la importancia del trabajo en equipo, para el logro de mejores resultados personales y de grupo.

Niveles de logro:

- Manifiesta una actitud respetuosa hacia los derechos humanos de los demás estudiantes y del profesor.
- Acepta el aporte que hagan los demás a los temas de clase.
- Acepta la crítica como parte del proceso educativo.
- Ofrece aportes en actividades colaborativas.

4. Asume con responsabilidad los compromisos de la asignatura.

Niveles de logro:

- Presenta los trabajos asignados en clase a tiempo.
- Acude a las clases puntualmente.
- Participa en el desarrollo de la clase y los talleres grupales.
- Reconoce los derechos de autor en los trabajos.

CONTENIDOS

1. CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE INTERCAMBIO DE CALOR

- 1.1. Recuperadores
 - 1.1.1 Equipos de intercambio de calor tubulares
 - 1.1.2 Equipos de intercambio de calor compactos
- 1.2. De contacto directo
 - 1.2.1 Gas sólido
 - 1.2.2 Fluidos inmiscibles
 - 1.2.3 Fluidos parcialmente miscibles
- 1.3. Regeneradores

2. SELECCIÓN DEL TIPO DE EQUIPO DE INTERCAMBIO DE CALOR

- 2.1 Materiales de construcción
- 2.2 Presión de operación
- 2.3 Temperatura de operación
- 2.4 Magnitud del flujo
- 2.5 Arreglo de flujo para los equipos de intercambio de calor
- 2.6 Parámetros de desempeño: eficiencia térmica, caída de presión.
- 2.7 Tendencia al ensuciamiento
- 2.8 Tipos y fases de los fluidos
- 2.9 Mantenimiento, inspección, limpieza, reparación y otros aspectos
- 2.10 Técnicas de fabricación
- 2.11 Aplicación pretendida

3. DISEÑO DE EQUIPOS DE INTERCAMBIO DE CALOR

- 3.1 Coeficiente global de transferencia de calor
- 3.2 Coeficiente de ensuciamiento o factor de incrustación
- 3.3 Diferencia de temperatura media logarítmica (LMTD)
- 3.4 Efectividad de un equipo de intercambio de calor

- 3.4.1 Efectividad térmica ε
- 3.4.2 Número de unidades de transferencia NTU
- 3.4.3 Relaciones Efectividad-Número de unidades de transferencia
($\varepsilon - NTU$)
- 3.5 Consideraciones de diseño
 - 3.5.1 Aislamiento de los equipos
 - 3.5.2 Aumento de la transferencia de calor
 - 3.5.3 Ensuciamiento, corrosión y su control
 - 3.5.4 Selección del material para un intercambiador de calor
 - 3.5.5 Control y aseguramiento de la calidad

4. EQUIPOS DE INTERCAMBIO DE CALOR TUBULARES

- 4.1 Conceptos previos para el diseño de intercambiadores de calor
- 4.2 Intercambiadores de calor de doble tubo
- 4.3 Intercambiador de tubos y carcasa
 - 4.3.1 Tipos de intercambiadores de tubo y carcasa
 - 4.3.2 Tubos
 - 4.3.3 Carcasa
 - 4.3.4 Vibración inducida por el flujo en un intercambiador de carcasa y tubo
 - 4.3.5 Intercambiadores de tubos y carcasa: heurísticas generales de diseño.
 - 4.3.6 Transferencia de calor y caída de presión en la tubería y la carcasa de un intercambiador.

5. EQUIPOS DE INTERCAMBIO DE CALOR COMPACTOS

- 5.1 Características de los equipos de intercambio de calor compactos
- 5.2 Equipos de intercambio de calor de tubos con aletas
- 5.3 Equipos de intercambio de calor de placas empacadas
 - 5.3.1 Generalidades, Ventajas y Desventajas

5.3.2 Diseño Térmico

5.4 Otros tipos equipos de intercambio de calor de placas

5.4.1 Intercambiadores de calor de placas con aletas

5.4.2 Intercambiadores de calor en espiral

5.4.3 Intercambiadores de calor de placas soldadas

6. OTROS TIPOS DE EQUIPOS DE INTERCAMBIO DE CALOR

6.1 Rehervidores y vaporizadores

6.2 Condensadores

6.3 Enfriadores de aire

6.4 Hornos y Calderas

6.5 Transferencia de calor en tanques

6.6 Regeneradores

7. LABORATORIO PRÁCTICO

7.1 Práctica nº1. Minievaporador

7.2 Práctica nº2. Batería de calentamiento

8. TALLER DE SIMULACIÓN

8.1 Simulación nº1. Transferencia de calor en un equipo de intercambio de calor de tubos y carcasa

ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE

El desarrollo de las clases se llevará a cabo con el planteamiento y la resolución de problemas y situaciones particulares tanto hipotéticas como reales en las cuales el estudiante podrá participar activamente con la formulación y respuesta a diversas incógnitas que se planteen, y que permitirá fortalecer y consolidar los conocimientos de la asignatura. Por otro lado, se propondrán quices y talleres conceptuales de carácter grupal que permita autoevaluar el conocimiento de los

fundamentos básicos de la transferencia de calor y los tipos de intercambiador existentes, así como la selección del más adecuado dependiendo del proceso térmico a resolver; por otro lado, también se desarrollarán talleres prácticos empleando herramientas matemáticas, métodos experimentales, y aplicaciones informáticas que ayudarán al estudiante a resolver problemas de transferencia de calor, así como diseñar conceptualmente (modelar), simular y optimizar equipos de intercambio de calor. Finalmente, también existirá un componente práctico que consistirá en el desarrollo de un laboratorio y taller en los que se permita al estudiante aplicar los conocimientos adquiridos en la asignatura, y además visualizar y comprender de mejor forma cómo son en la práctica los procesos de intercambio de calor y cuáles son los variables experimentales que lo afectan o dominan. Durante el desarrollo de dicho componente práctico se elaborará un informe que será presentado de manera escrita y oral y que permitirá de manera adicional desarrollar la capacidad lingüística del estudiante tanto a nivel de comprensión, redacción y comunicación.

EVALUACIÓN

Se realizarán seis evaluaciones parciales que se presentan a continuación en las que se evaluarán las competencias tanto axiológicas como cognitivas adquiridas por el estudiante durante el desarrollo de la asignatura.

1ª Evaluación: Previo Temas 1-4	Valor: 25% Fecha 1
2ª Evaluación: Previo Tema 5	Valor: 25%. Fecha 2
3ª Evaluación: Previo Tema 6	Valor: 25%. Fecha 3
4ª Evaluación: Previo Tema 7	Valor: 5%. Fecha 4
5ª Evaluación: Talleres y Quices	Valor: 10%
6ª Evaluación: Prácticas y Simulación	Valor: 10%

BIBLIOGRAFÍA

- BERGMAN, Theodore L., *et al.* Fundamentals of heat and mass transfer. 7 ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc., 2011. 1048 p.
- COUPER, James R., *et al.* Chemical Process Equipment. Selection and Design. 2 ed. Estados Unidos: Elsevier, 2005. 814 p.
- HOLMAN, J.P. Transferencia de calor. México D.F.: McGraw Hill Book Company, Inc., 1999. 621p.
- KERN, Donald Q. Procesos de transferencia de calor. México D.F.: Editorial Continental S.A., 1965. 980 p.
- KUPPAN, Thulukkanam. Heat exchanger design handbook. Estados Unidos: Marcel Dekker, 2000. 1119 p.
- LEVENSPIEL, Octave. Flujo de fluido e intercambio de calor. España: Editorial Reverté S.A., 1993. 373 p.
- SEIDER, Warren D.; SEADER, J. D. y LEWIN, Daniel R. Product & Process Design Principles: Synthesis, Analysis, and Evaluation. 2 ed. Estados Unidos: John Wiley. 2004. 802 p.
- SHAH, Ramesh K. y SEKULIC, Dusan. Fundamentals of heat exchanger design. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc. 2003. 941 p.
- SMITH, Robin. Chemical Process Design and Integration. Inglaterra: John Wiley & Sons, Inc., 2005. 686 p.
- TOWLER, Gavin y SINNOTT, Ray. Chemical engineering design, principles, practice and economics of plant and process design. Estados Unidos: Elsevier, 2008. 1242 p.

ANEXO B. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO DE INTERCAMBIO DE CALOR BME 400 S, ADQUIRIDO POR LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.

Gama Ingeniería Térmica - 06/09

BME-400S



INTERCAMBIADORES TÉRMICOS BME/4000/S



Objetivos pedagógicos

Comparación de cuatro intercambiadores industriales de tecnologías diferentes y de igual superficie de intercambio : 0,12 m².

Comparación de tres tecnologías :

- Intercambiador monotubo vidrio / inox.
- Intercambiador de vidrio a haz tubular inox.
- Intercambiador inox a placas
- Intercambiador coraza vidrio serpentín inox.

Determinación de la influencia de los regímenes de derramamiento sobre la transferencia térmica :

- Régimen turbulento, laminar.
- Circulación a pro y a contra-corriente.
- Estudio del gradiente de temperatura (en opción).

Caracterización de las transferencias térmicas :

- Balance térmico.
- Rendimiento.
- Coeficiente global de intercambio térmico K experimental y teórico.

PIGNAT S.A.S.

Bajo reserva de modificaciones técnicas

Tomado de: Pignat S.A.S. Procesos y enseñanza, catálogo de equipos de intercambio térmico

[En línea]. [6]