

**IMPLEMENTACIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA LAS  
MATERIAS DE ESTEQUIOMETRÍA, FENÓMENOS DE TRANSPORTE I Y  
FENÓMENOS DE TRANSPORTE II PARA REFORZAR EL NUEVO PLAN  
ACADEMICO DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**GERMAN ALBERTO PARADA MENDEZ**

**ARTHUR STEVEN VERA CALDERON**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**BUCARAMANGA**

**2009**

**IMPLEMENTACIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA LAS  
MATERIAS DE ESTEQUIOMETRIA, FENÓMENOS DE TRANSPORTE I Y  
FENÓMENOS DE TRANSPORTE II PARA REFORZAR EL NUEVO PLAN  
ACADÉMICO DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**GERMAN ALBERTO PARADA MENDEZ**

**ARTHUR STEVEN VERA CALDERON**

**Trabajo de grado para optar al Título de  
Ingeniero Químico**

**DIRECTOR**

**RAMIRO MARTINEZ REY**

**Ph.D. Ingeniero Químico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**BUCARAMANGA**

**2009**

*A Dios*

*por iluminar cada instante de mi vida y brindarme la sabiduría  
para escoger el camino correcto y la fortaleza para  
sobrellevar las contrariedades de la vida.*

*A mis Padres Sara y Joaquín*

*por todo el amor recibido y el sacrificio realizado  
en búsqueda de mi bienestar dedico este logro  
como respuesta a su entrega constante.*

*A mi Hermana Hilda María*

*por estar siempre presente en mi vida  
dispuesta a darme su ayuda incondicional.*

*A mis amigos*

*por todos y cada uno de los buenos momentos compartidos.*

*German Alberto*

*Dedico este proyecto a Dios*

*Por otorgarme la sabiduría y la salud para lograrlo.*

*A mis padres Arturo y María*

*Que me guiaron por el camino correcto*

*Y me inspiraron a continuar en los momentos frágiles.*

*A mis hermanas Nayibe y Nathalia*

*Por su ayuda y constante cooperación*

*A mi sobrino Brayan*

*Motor de mi motivación.*

*A mis amigos*

*Quienes colaboraron a ampliar mis conocimientos*

*Y a estar más cerca de mis metas profesionales.*

*... Dios los bendiga!!!*

*Arthur Vera*

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento a:

RAMIRO MARTINEZ REY Ph.D. Como Director del proyecto por su confianza en el trabajo realizado.

JESÚS MANUEL MENDOZA. Ingeniero Químico; por su constante apoyo y los valiosos aportes y consejos otorgados.

EDUARDO CARREÑO, WILSON CARREÑO, GUILLERMO ACERO. Laboratorios de Ingeniería Química, por su colaboración incondicional.

GABRIEL FERNANDO RODRIGUEZ. Ingeniero Químico, por su valiosa ayuda sobre el manejo de *Adobe Dreamweaver CS4* y sus valiosos consejos.

GERSON YAMID RAMIREZ. Estudiante de Ingeniería Química, por su constante apoyo y colaboración activa en la realización del proyecto.

## CONTENIDO

|   | Pag. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN  | 1    |
| 1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO  | 3    |
| 1.1. OBJETIVOS  | 3    |
| 1.1.1. Objetivo General   | 3    |
| 1.1.2. Objetivos Específicos  | 3    |
| 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA   | 3    |
| 1.3. METAS DE LA IMPLEMENTACIÓN   | 4    |
| 2. FUNDAMENTO TEÓRICO   | 5    |
| 2.1. ESTEQUIOMETRIA   | 5    |
| 2.1.1. Propósito del curso de Estequiometria  | 5    |
| 2.1.2. Temas abordados en la Implementación de Prácticas de Estequiometria            | 5    |
| 2.2. FENÓMENOS DE TRANSPORTE  | 6    |
| 2.2.1. Fenómenos de Transporte I  | 7    |
| 2.2.1.1. Propósito del curso de Fenómenos de Transporte I                             | 7    |
| 2.2.1.2. Temas abordados en la Implementación de Prácticas Fenómenos de Transporte I  | 7    |
| 2.2.2. Fenómenos de Transporte II   | 8    |
| 2.2.2.1. Propósito del curso de Fenómenos de Transporte II                            | 8    |
| 2.2.2.2. Temas abordados en la Implementación de Prácticas Fenómenos de Transporte II | 8    |
| 3. DESARROLLO DEL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN   | 10   |
| 3.1. ETAPA DE DISEÑO  | 10   |
| 3.1.1. REVISIÓN   | 11   |

|   |    |
|---|----|
| 3.1.2. FORMULACIÓN DE LA METODOLOGIA  | 11 |
| 3.1.2.1. LA TEORIA DE LA CAJA NEGRA   | 11 |
| 3.1.3. SELECCIÓN DE LOS TEMAS DE LAS PRACTICAS                                      | 12 |
| 3.1.3.1. Prácticas de Estequiometria  | 12 |
| 3.1.3.2. Prácticas de Fenómenos de Transporte I                                     | 13 |
| 3.1.3.3. Prácticas de Fenómenos de Transporte II                                    | 14 |
| 3.1.4. DISEÑO DE LOS MANUALES DE PROCEDIMIENTO                                      | 15 |
| 3.2. ETAPA DE ELABORACIÓN   | 17 |
| 3.2.1. REALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS   | 17 |
| 3.2.2. VALIDACIÓN DE LAS PRÁCTICAS  | 18 |
| 3.2.3. EDICIÓN DE LOS VIDEOS GUIA   | 18 |
| 3.3. ETAPA DE SOCIALIZACIÓN   | 19 |
| 3.3.1. OBJETIVOS DE LA SOCIALIZACIÓN  | 19 |
| 3.3.2. FORMULACION DE LA METODOLOGIA  | 20 |
| 3.3.2.1. Selección del método de evaluación   | 20 |
| 3.3.2.2. Selección del personal consultado  | 20 |
| 3.3.2.3. Presentación del formato de consulta                                       | 20 |
| 4. RESULTADOS DEL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN   | 21 |
| 4.1. GRADO DE ACEPTACIÓN DEL PROYECTO DE IMPLEMENTACION SEGÚN SUS DIFERENTES ETAPAS | 21 |
| 4.2. NIVEL DE APROBACIÓN DE LAS PRÁCTICAS PROPUESTAS POR ASIGNATURAS                | 22 |
| 4.2.1. Nivel de aprobación de las prácticas de Estequiometria                       | 23 |
| 4.2.2. Nivel de aprobación de las prácticas de Fenómenos de Transporte I            | 23 |
| 4.2.3. Nivel de aprobación de las prácticas de Fenómenos de Transporte II           | 24 |
| 4.3. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL                                     | 24 |

|                    |    |
|--------------------|----|
| 5. CONCLUSIONES    | 26 |
| 6. RECOMENDACIONES | 27 |
| BIBLIOGRAFIA       | 28 |
| ANEXOS             | 29 |

## LISTA DE FIGURAS

|  | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Caracterización del Proceso de Implementación.           | 10   |
| Figura 2. Nivel de Aprobación Prácticas Estequiometria.            | 23   |
| Figura 3. Nivel de Aprobación Prácticas Fenómenos de Transporte I. | 23   |
| Figura 4. Nivel de Aprobación de Fenómenos de Transporte II.       | 24   |

## LISTA DE TABLAS

|  | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Encabezado del formato de los manuales de procedimiento | 16   |
| Tabla 2. Prácticas de Estequiometría.                            | 23   |
| Tabla 3. Prácticas de Fenómenos I.                               | 23   |
| Tabla 4. Prácticas de Fenómenos II.                              | 24   |

## LISTA DE ANEXOS

|   | Pág. |
|---|------|
| ANEXO A. Formato de la consulta                             | 29   |
| ANEXO B. Resultados de la consulta                          | 32   |
| ANEXO C. Manual de Prácticas de Laboratorio Estequiometria. | 36   |
| ANEXO D. Manual de Prácticas de Laboratorio Fenómenos I.    | 73   |
| ANEXO E. Manual de Prácticas de Laboratorio Fenómenos II.   | 119  |

## RESUMEN

**TÍTULO:** IMPLEMENTACIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA LAS MATERIAS DE ESTEQUIOMETRÍA, FENÓMENOS DE TRANSPORTE I Y FENÓMENOS DE TRANSPORTE II PARA REFORZAR EL NUEVO PLAN ACADÉMICO DE INGENIERÍA QUÍMICA.\*

**AUTORES:** Germán Alberto Parada Méndez, Arthur Steven Vera Calderón. \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Implementación, Prácticas de Laboratorio, Estequiometría, Fenómenos de transporte; Herramienta Computacional.

### DESCRIPCIÓN:

Este proyecto provee las bases para la Implementación del componente práctico de las asignaturas de Estequiometría, Fenómenos de Transporte I y Fenómenos de Transporte II, a partir del requisito contemplado en la reforma al plan de estudios de Ingeniería Química.

Se diseñaron cinco prácticas de laboratorio por asignatura, según el programa académico de Estequiometría, Fenómenos de Transporte I y Fenómenos de Transporte II; adoptando la metodología de La Caja Negra, en donde el principio de esta radica en la comprensión de algo desconocido a partir de información atractiva recibida por los sentidos.

La totalidad de las prácticas se realizaron en las instalaciones de la escuela de Ingeniería Química a partir de los manuales de procedimientos diseñados, cada una posee un video guía en el cual se desarrolla la experiencia con los resultados relevantes y las conclusiones obtenidas.

Fue desarrollada una herramienta computacional de fácil manejo que agrupa todo el contenido del proyecto para facilitar el acceso a la información por parte de los interesados,

El trabajo realizado se puso a consideración de estudiantes y docentes involucrados en la propuesta del proyecto de Implementación mediante una consulta realizada obteniendo resultados satisfactorios; lo que se traduce que se usara una herramienta de alta aceptación para fomentar el desarrollo de las asignaturas de Estequiometría, Fenómenos de Transporte I y Fenómenos de Transporte II en beneficio de un aprendizaje significativo de los estudiantes en el desarrollo de los estudios en Ingeniería Química.

---

\*Proyecto de Grado.

\*\*Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Ph.D. Ramiro Martínez Rey. Codirector: Ing. Jesús Manuel Mendoza

## ABSTRACT

**TITLE:** IMPLEMENTATION OF LABORATORY PROCEDURES FOR THE SUBJECTS STOICHIOMETRY, TRANSPORT PHENOMENA AND TRANSPORT PHENOMENA II, TO REINFORCE THE NEW ACADEMIC PLAN OF CHEMICAL ENGINEERING\*.

**AUTHORS:** Germán Alberto Parada Méndez, Arthur Steven Vera Calderón. \*\*

**KEY WORDS:** Implementation, Laboratory Procedures, Stoichiometry, Transport Phenomena, Computational tool.

### DESCRIPTION:

This project provides the grounds to Implement the practical component of the subjects *Estequiometría*, *Fenómenos de Transporte I* and *Fenómenos de Transporte II*, because of the requirement contemplated in the reform to the study plan of Chemical Engineering-UIS.

Five laboratory procedures were designed by subject, according to the academic program of each of them; using the methodology termed “The Black Box”, which guide you to understand something unknown starting from attractive organoleptic information

The whole procedures were realized in the facilities of the school of Chemical Engineering-UIS, and starting from handbooks of designed procedures; each one includes a guide video in which is shown how the practice is carried out, besides the important results and conclusions are exposed.

It was developed an easy to use computational tool, which groups the whole content of the project to facilitate the access to the information by the interested.

The realized work was put to the consideration of students and teachers involved in the proposed project of Implementation by means of a consultation realized, from which were obtained satisfactory results; which means that will be used a highly accepted tool to foment the development of the subjects *Estequiometría*, *Fenómenos de Transporte I* and *Fenómenos de Transporte II* in benefit of a significant learning by the students in the development of the program of Chemical Engineering.

---

\*Degree Project.

\*\*Engineering Physical-Chemical Faculty. Department of Chemical Engineering. Director: Ph.D. Ramiro Martínez Rey. Codirector: Ing. Jesús Manuel Mendoza

## INTRODUCCIÓN

La reforma al Plan de Estudios de Ingeniería Química plantea el compromiso de encontrar una estrategia de juntar los conceptos adquiridos en el aula de clase con un complemento práctico favoreciendo el desarrollo de las destrezas y habilidades de los estudiantes de tal forma que se armonice el aprendizaje de las asignaturas.

La implementación de prácticas de laboratorio para Estequiometría y Fenómenos de Transporte I y II; se presenta como una prioridad para contribuir con el mejoramiento del aprendizaje, así como el aprovechamiento de los recursos disponibles en los laboratorios de la escuela para una mejor consecución en los objetivos propios de cada materia.

El presente proyecto plantea la elaboración y adaptación de un total de quince prácticas distribuidas para tres asignaturas del plan de estudios de Ingeniería Química, Estequiometría, Fenómenos de Transporte I y II; cada una con un número de cinco prácticas planificadas a lo largo del semestre académico.

El desarrollo de las prácticas se efectúa en los laboratorios de la escuela de Ingeniería Química, sin embargo teniendo en cuenta la presencia de algún inconveniente para llevar a cabo las prácticas directamente en las instalaciones de los laboratorios, ya sea por disponibilidad de estos o por escasez de tiempo de los profesores para coordinar el desarrollo de las prácticas, se optó por presentar un video guía como complemento al procedimiento de cada práctica, en el cual se ilustra cómo realizar la práctica y se presentan una serie de cuestionamientos con el fin de confrontar al estudiante a medida que transcurre el video llevando una secuencia de los principios generales sobre el tema abordado.

La herramienta audiovisual es una alternativa que facilita la implementación de las prácticas desde un salón de clase y en un menor tiempo que el requerido en el laboratorio.

## **1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN**

### **1.1. OBJETIVOS**

#### **1.1.1. Objetivo General**

Desarrollar una metodología y elaborar las prácticas de laboratorio para Estequiometría, Fenómenos de Transporte I y II, a través de la innovación y desarrollo de recursos visuales y prácticos, que puedan ser implementados e incorporados a cada una de las asignaturas y formar un criterio personal en cada uno de los estudiantes.

#### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Formular una metodología para la enseñanza donde se estimule la capacidad de análisis del estudiante.
- Plantear cinco prácticas por cada asignatura para ser desarrolladas por los docentes en el transcurso del semestre, buscando una mejor formación del estudiante las cuales se apoyen con las teorías dictadas en clase ayudando a la comprensión de estas.
- Proporcionar recursos visuales guías para el desarrollo de las prácticas planteadas.
- Socializar y evaluar con los estudiantes y docentes la importancia del aprendizaje práctico dentro de la metodología de enseñanza de clase.

### **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Dentro de la reforma académica de la escuela de Ingeniería Química se plantea la necesidad que las asignaturas del plan de estudios tengan un componente práctico con el fin de reafirmar los conocimientos teóricos que se están abordando en el aula de clases.

Es un compromiso de la reforma implementar y fortalecer las prácticas en el laboratorio para darle al estudiante la oportunidad de adquirir conocimiento a través del aprendizaje práctico para que estos sean capaces de enfrentar y solucionar los diversos problemas que se presente en su desarrollo profesional.

A partir de este planteamiento se opta por diseñar unas actividades que fomenten el desarrollo de las destrezas y habilidades de los estudiantes e implementarlas en el ejercicio de las asignaturas de Estequiometría, Fenómenos de Transporte I y Fenómenos de Transporte II; teniendo en cuenta el desarrollo la temática acordada en el programa de cada una de ellas; en pro de obtener una formación integral durante el ejercicio académico de la Ingeniería Química.

### **1.3. METAS DE LA IMPLEMENTACIÓN**

Con el desarrollo del proyecto se espera fomentar el desarrollo de las asignaturas de Estequiometría, Fenómenos de Transporte I y II; de tal manera que los estudiantes y los docentes acojan el proyecto y lo aprovechen contribuyendo así en el proceso de aprendizaje evaluando las conceptos teóricos con hechos experimentales.

Familiarizar a los estudiantes con los equipos disponibles en los laboratorios de la escuela de Ingeniería Química aprovechándolos al máximo desde los primeros niveles de la carrera y no esperar hasta el fin de esta, así se lograría contribuir con el desarrollo crítico, práctico y analítico de los estudiantes en búsqueda de una formación integral a lo largo de su estancia en la universidad.

Llevar el proyecto a las partes interesadas de una manera más sencilla mediante la disponibilidad del material y la información pertinente con el fin de que pueden ser estudiados de manera individual en caso de cualquier inconveniente para ejecutar la experiencia directamente en el laboratorio.

## **2. FUNDAMENTO TEÓRICO**

El alcance del proyecto está enfocado en las asignaturas de Estequiometria, Fenómenos de Transporte I y Fenómenos de Transporte II incluidas en el plan de estudios de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander; para iniciar el desarrollo del proyecto se describe los temas tratados en la Implementación de prácticas de Laboratorio de manera sucinta.

### **2.1. ESTEQUIOMETRIA**

La Estequiometria es la ciencia que mide las proporciones cuantitativas o relaciones de masa en las que los elementos químicos están implicados. Desde el punto de vista de los procesos químicos es importante comprender inicialmente cuanto se suministra en masa a un proceso y cuanto se produce antes de examinar requerimientos de energía. La observación macroscópica de una reacción química con la formación de precipitados que se pueden medir directamente y de forma sencilla puede hacer de la estequiometria algo agradable.

#### **2.1.1. Propósito del curso de Estequiometria**

Analizar operaciones y procesos químicos a partir de los principios de conservación y cambio de masa y energía.

#### **2.1.2. Temas abordados en la Implementación de Prácticas de Estequiometria**

##### **PRINCIPIO DE CONSERVACIÓN DE MASA Y ENERGÍA**

- Leyes de las proporciones definidas: la ley de las proporciones constantes dice que “cuando se combinan dos o más elementos para dar lugar a

determinado compuesto, siempre lo hacen en una relación de masas constantes.

- Termoquímica: es una subdisciplina de la fisicoquímica que estudia los cambios de calor en los procesos de cambio químico, como lo son las reacciones de cambio químico.
- Ecuaciones de balance de masa, molar y energía: los balances de materia son la aplicación de la ley de la conservación de la masa, “La materia no se crea ni se destruye”.

## GASES, VAPORES, LÍQUIDOS Y SÓLIDOS

- Calculo de gases ideales: un gas hipotético formado por partículas puntuales, sin atracción ni repulsión entre ellas y cuyos choques son perfectamente elásticos.
- Presión de Vapor: o presión de saturación es la presión para una temperatura dada en la que la fase líquida y el vapor se encuentran en equilibrio dinámico.

## ANÁLISIS DE PROCESOS

- Análisis de enlace entre elementos, reciclaje: consiste en retirar parte de los productos de un proceso y regresarlo para combinarse con el alimento fresco y someterlos nuevamente a la operación que se realice.
- Análisis de procesos químicos, combustión: reacción química de oxidación en la cual uno de los reactantes es prácticamente gratis y disponible, como lo es el oxígeno en el aire, mientras es otro es relativamente costoso como lo es el carbón, aceite o gas natural.

## 2.2. FENÓMENOS DE TRANSPORTE

La expresión Fenómenos de Transporte se refiere al estudio sistemático y unificado de la transferencia de momento, energía y materia. El transporte de estas cantidades guardan fuertes analogías, tanto físicas como matemáticas,

tal que el análisis matemático empleado es prácticamente el mismo. Los Fenómenos de Transporte pueden dividirse en dos tipos: transporte molecular y transporte convectivo. Esto a su vez puede estudiarse en tres niveles distintos: macroscópico, microscópico y molecular.

## **2.2.1. FENÓMENOS DE TRANSPORTE I**

### **2.2.1.1. Propósito del curso de Fenómenos de Transporte I**

- Desarrollar conceptos sobre mecanismos y cinética de los fenómenos de transferencia de masa, calor y cantidad de movimiento.
- Ubicar los fenómenos de transporte como fundamento del estudio de las operaciones unitarias y los procesos químicos.
- Analizar operaciones y procesos en los que ocurran fenómenos de transporte en sistemas homogéneos, flujo en una dirección y en estado estacionario o no estacionario.

### **2.2.1.2. Temas abordados en la Implementación de Prácticas de Fenómenos de Transporte I**

- Mecanismo de transporte de cantidad de movimiento: La propiedad física que caracteriza la resistencia al flujo de los fluidos es la viscosidad, la cual presenta una dependencia con la temperatura del fluido en el momento de su determinación.
- Mecanismo de transporte de calor: la conductividad calorífica  $k$  es una propiedad que interviene en la mayor parte de los problemas, su importancia es análoga en el transporte de calor a la viscosidad en el transporte de cantidad de movimiento.
- Mecanismo de transporte de masa: el movimiento de una especie química desde una región de concentración elevada hacia otra de baja concentración puede observarse colocando un pequeño cristal de  $\text{KMnO}_4$

en agua, debido al gradiente de concentración que se establece el  $\text{KMnO}_4$  se difunde alejándose del cristal.

- Reología: se denomina Reología al estudio de la deformación y de los principios físicos que regulan el movimiento de la materia.
- Fluidos Newtonianos: fluidos cuya viscosidad se mantiene constantes en el tiempo.

## **2.2.2. FENOMENOS DE TRANSPORTE II**

### **2.2.2.1. Propósito del curso de Fenómenos de Transporte II**

- Fomentar, resolver e interpretar resultados de situaciones (operaciones y procesos) en los que ocurran fenómenos en varias direcciones, sistemas multifásicos y procesos estacionarios y no estacionarios.

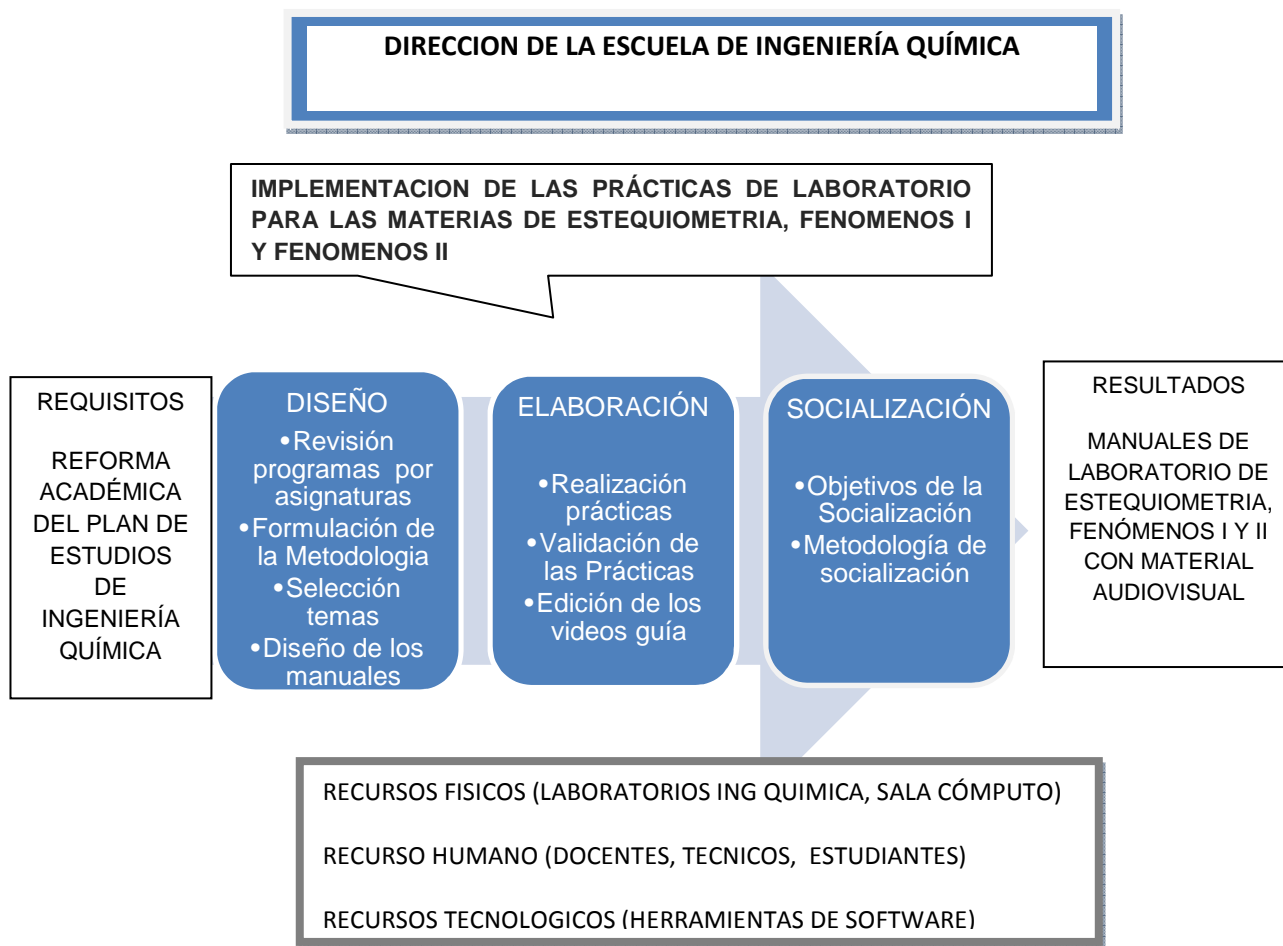
### **2.2.2.2. Temas abordados en la Implementación de Prácticas de Fenómenos de Transporte II**

- Número Adimensional de Reynolds: es utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido.
- Flujo en lecho fijo: los reactores en lecho fijo consisten en uno o mas tubos empacados que operan en posición vertical, las partículas de empaque pueden variar de tamaño y de forma sean granulares, cilíndricas o esféricas.
- Lecho Fluidizado: lecho en el cual las partículas son removidas por el fluido, las expresiones “fluidización” y “lecho fluidizado” se utilizan para describir la condición de las partículas completamente suspendidas, toda vez que la suspensión se comporta como un fluido denso.
- Transferencia de calor en un serpentín: la adición de calor se consigue haciendo pasar vapor de agua o de refrigeración mediante un serpentín situado en el interior de un tanque y se utiliza algún tipo de agitador para

obtener una buena mezcla en su interior. Transporte de calor en superficies extendidas: se usan aletas o superficies extendidas con el fin de incrementar la razón de transferencia de calor de una superficie.

### 3. DESARROLLO DEL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN

Figura 1. Caracterización del Proceso de Implementación



#### 3.1. ETAPA DE DISEÑO

Esta comprende el estudio preliminar del proyecto, con el fin de establecer un protocolo de búsqueda sobre la información seleccionada y ordenarla antes de iniciar el desarrollo en el laboratorio de cada una de las prácticas.

### **3.1.1. REVISIÓN**

Inicialmente se revisaron los programas de las asignaturas de Estequiometría, Fenómenos de Transporte I y II para obtener una idea preliminar respecto a las temáticas a tratar en las prácticas.

### **3.1.2. FORMULACIÓN DE LA METODOLOGÍA**

En un proceso de Implementación el problema primario a resolver es enfrentar la resistencia al cambio de las personas involucradas, se hace necesario diseñar una estrategia pertinente que cree conciencia sobre la importancia de realizar la Implementación y los beneficios a obtener.

La importancia de optar por una metodología de aprendizaje en las experiencias prácticas es lograr en el estudiante una mayor participación colectiva y consciente, el desarrollo de su pensamiento, de su imaginación y su creatividad.

#### **3.1.2.1. TEORÍA DE LA CAJA NEGRA**

Adoptando la teoría de “La Caja Negra” como un modelo aplicado a un sistema de contenido desconocido y del cual solo se conoce lo que lo afecta y lo que produce, así mismo se le presenta al estudiante un proceso o experiencia como una caja negra, y se espera que este deduzca su contenido a través del análisis de las variaciones de los componentes del proceso o experiencia, es decir la metodología de la Implementación de las prácticas de laboratorio se fundamenta en mostrar indicios del contenido de la experiencia a realizar antes de iniciar con el fin de contribuir al desarrollo de análisis del estudiante.

La idea de acoplar la teoría de la Caja Negra como metodología se fundamenta captando la atención a través de la selección de la información atractiva al estudiante, seguido de un proceso de percepción a través de los sentidos mediante la presentación de una motivación gráfica y su posterior transformación en experiencias ilustrativas, que serán de fácil recuperación mediante el uso de la memoria y contribuirán con el desarrollo analítico para el

procesamiento de la información y la comprensión del lenguaje técnico propio de la temática abordada para culminar con la adquisición de conceptos, competencias y habilidades cognitivas propias del área de aprendizaje.

### **3.1.3. SELECCIÓN DE LOS TEMAS DE LAS PRÁCTICAS**

Mediante la revisión de los programas de estudio de cada asignatura se escogieron los temas, los cuales dieron origen a quince prácticas distribuidos como se menciona a continuación:

#### **3.1.3.1. Prácticas de Estequiometria**

- **GENERACIÓN DE HIDROGENO A PARTIR DE LA REACCIÓN DE UN METAL CON UN ÁCIDO:** consiste en determinar aplicando balances de masa la cantidad de moles de hidrogeno producido cuando se pone en contacto acido clorhídrico con magnesio en un tubo de ensayo con salida lateral conectado a una bureta para gases sumergida boca abajo en agua, en la cual se recoge el hidrogeno producido para calcular posteriormente el rendimiento de la reacción teniendo en cuenta la ecuación general de los gases ideales y las ley de Dalton para una mezcla de gases.
- **LEY DE LAS PROPORCIONES DEFINIDAS:** consiste en comprobar experimentalmente la Ley de Proust que enuncia que cuando dos elementos se combinan para dar lugar a un compuesto lo hacen en proporciones definidas, para este caso se tratara permanganato de potasio con tiosulfato de sodio penta-hidratado y se determina la proporción en la que cada uno de estos reactivos reacciona.
- **TERMOQUIMICA:** en esta práctica se estudiaran los cambios de calor en las reacciones químicas para ello se determinarían entalpías de neutralización propias de una reacción acido (fuerte/débil) con una base (fuerte/débil), además de demostrar en la experiencia la Ley de Hess que enuncia que la entalpia de una reacción global es la misma que la suma(o

diferencia) algebraica de las reacciones que sumadas expresan la reacción global.

- **DESTILACIÓN DE UNA MEZCLA BINARIA (ETANOL-AGUA) A REFLUJO:** en esta práctica se realiza una destilación de una mezcla de etanol-agua en una torre empacada con anillos raschig de vidrio, buscando determinar en la experiencia el flujo y composición de destilado recogido y posteriormente calcular los flujos y composiciones de los productos de fondo a partir de los datos de alimento y los obtenidos en el destilado teniendo en cuenta la razón de reflujo de trabajo de la torre en la práctica.
- **PROCESO DE COMBUSTIÓN:** en esta práctica se pretende realizar un Análisis Próximo a una muestra de combustible de sólido bajo los parámetros de la Norma ASTM D3172, con el fin de determinar el % de humedad, el % de cenizas, el % de materia volátil y el % de carbón fijo de la muestra de combustible.

### **3.1.3.2. Prácticas de Fenómenos de Transporte I**

- **EFFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA VISCOSIDAD USANDO EL VISCOSIMETRO DE OSTWALD:** esta práctica consiste en analizar el efecto de la temperatura en la determinación de la viscosidad en un viscosímetro de Ostwald, esta se calcula para una sustancia de densidad conocida a partir del tiempo que tarde cierto volumen de fluido en atravesar el capilar del viscosímetro, teniendo en cuenta también la constante propia del viscosímetro de Ostwald la cual viene en el manual de este o se determina a partir de una calibración previa con un fluido como el agua.
- **CONDUCCIÓN Y PERDIDA DE CALOR A LO LARGO DE UNA BARRA METÁLICA:** consiste en poner en contacto una barra metálica con una fuente de calor en un extremo analizando como se efectúa el transporte de calor por el mecanismo de conducción a lo largo de la barra calculando la distribución de temperatura en toda su extensión mediante la medición de

esta colocando una serie de termocuplas a determinadas longitudes en el largo de la barra.

- **DIFUSIÓN DE  $\text{KMnO}_4$  EN AGUA:** esta práctica tiene como fin estudiar la difusión bidimensional del  $\text{KMnO}_4$  en agua, hallando los valores del coeficiente de difusividad a diferentes temperaturas y analizar la incidencia que presenta sobre esta.
- **CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA DE UN FLUIDO:** esta práctica consiste en caracterizar por medio de la Reología distintos fluidos utilizando el viscosímetro de Brookfield, realizando diferentes ensayos para comprender que propiedades del fluido ayudan a la caracterización reológica de este, tal como analizar conceptos y graficas donde se relacionen velocidades de deformación con esfuerzo aplicados a cada fluido.
- **EFFECTO WEISSENBERG:** el fin de esta práctica es reconocer que efecto se produce en fluidos poliméricos y cual efecto se produce en fluidos newtonianos cuando están expuestos a una agitación mecánica, para ilustrar y comprender diferencias entre estos dos tipos de fluidos.

### **3.1.3.3. Prácticas de Fenómenos de Transporte II**


- **DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE REYNOLDS:** esta práctica tiene como fin estudiar el flujo de un fluido en tuberías horizontales de diferentes diámetros a distintos caudales determinando el número de Reynolds para cada uno de estos y analizando la importancia de este para la caracterización del flujo de un fluido por un ducto.
- **DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR:** en esta práctica se aplican los principios básicos de transferencia de calor para determinar el coeficiente global de transferencia de calor de un sistema de intercambio con serpentín evaluando las perdidas caloríficas por convección, radiación así como las perdidas másicas por evaporación; además se evalúa la diferencia entre el efecto de un sistema en convección forzada a otro con convección libre.

- **ETAPAS DEL PROCESO DE FLUIDIZACIÓN:** en esta práctica se estudian las diferentes etapas del proceso de fluidización y las variables que intervienen en dicho proceso, tal como la caída de presión y la expansión de la altura del lecho de partículas solidas respecto al aumento de la velocidad superficial del fluido de trabajo.
- **DETERMINACIÓN DE UNA CORRELACIÓN PARA LA CAÍDA DE PRESIÓN DE LAS TORRES EMPACADAS DEL LABORATORIO:** el fin de esta práctica es determinar una correlación de la caída de presión en las torres empacadas analizando la influencia del flujo de aire en la velocidad del agua que atraviesa la torre, así como la caída de presión en la torre respecto a la variación del caudal y relacionando la correlación en cada torre según el empaque de estas.
- **SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA ALETA APLICANDO LA HERRAMIENTA FEMLAB:** consiste en presentar la importancia del uso de herramientas computacionales como FEMLab para la resolución de problemas de transferencia de calor, en este caso se resuelven un par de ejercicios sobre aletas un tema de gran aplicación en los fenómenos de transferencia de calor.

#### **3.1.4. DISEÑO DE LOS MANUALES DE PROCEDIMIENTOS**

La elaboración de los manuales se realizo a partir de la metodología presentada, se diseño el formato de encabezado de cada una de las prácticas; en este se presenta la universidad, la escuela, la asignatura de laboratorio, la fecha de la práctica, el grupo, el numero de la práctica, quien lo elabora y quien lo revisa y el titulo de la práctica.

Tabla 1. Encabezado del formato de los manuales de procedimiento

|   |  |                |                      |       |
|---|--|----------------|----------------------|-------|
|  | <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b><br><b>LABORATORIO DE ESTEQUIOMETRÍA</b> |                | FECHA                | GRUPO |
|   | <b>MANUAL DE PROCEDIMIENTOS</b>  |                | <b>PRÁCTICA Nº 1</b> |       |
| <b>ELABORÓ:</b>   |  | <b>REVISÓ:</b> |                      |       |
| <b>TÍTULO DE LA PRÁCTICA</b>  |  |                |                      |       |

A continuación se expone la el cuerpo de la guía de desarrollo para el trabajo en cada una de las prácticas:

**Título de la Práctica:** tiene como fin dar un nombre a la experiencia y se centra en el tema de estudio que se lleva en las clases.

**Objetivo General:** determina el alcance de la práctica debe ser claro y susceptible de ser alcanzado, viene dado en función del título y del planteamiento del problema y es una declaración relativa a ¿Cómo?, ¿Qué?, ¿Para qué?

**Objetivos Específicos:** representan una guía de estudio y las metas a lograr de las actividades que se desarrollaran.

**Motivación:** consiste en la presentación de una o más figuras relacionadas a la práctica y busca mostrar al estudiante una idea del contenido de la práctica con solo observa la/s figuras y relacionarlas con el título de la práctica.

**Preguntas Guías:** este espacio será dispuesto para evaluar de forma subjetiva los conceptos adquiridos por los estudiantes en clase, plasmando una serie de preguntas fundamentales que conduzcan a un mejor dominio de los conceptos a utilizar en el desarrollo de la práctica.

**Fundamento Teórico:** su función consiste en exponer los conceptos necesarios para el desarrollo y solución de la experiencia mediante definiciones breves y concisas de la temática a tratar así como las leyes que aplican a esta.

**Materiales y Reactivos:** se enfoca en mencionar y detallar los equipos, implementos y reactivos necesarios para el completo desarrollo de la práctica.

**Procedimiento:** Se centra en ilustrar las distintas operaciones que se deben realizar en el desarrollo de la práctica de una manera clara favoreciendo la recepción del estudiante y una participación favorables del estudiante buscando una retroalimentación del estudiante con la actividad.

**Resultados:** busca que el estudiante entienda y analice el comportamiento de los resultados obtenidos en la práctica con el uso de gráficos o la deducción de distintos modelos y a su vez los confronte respecto a lo expuesto en la literatura.

**Bibliografía:** se proporciona una pequeña base de datos hacia los cuales el estudiante pueda resolver sus inquietudes de la práctica y su aprendizaje conexo con ella.

## **3.2. ETAPA DE ELABORACIÓN**

A partir de la documentación generada en la etapa del diseño se procede a desarrollar los contenidos de las prácticas, para obtener los registros que validen la estructura del diseño del proyecto.

### **3.2.1. REALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS**

Mediante los procedimientos documentados se realizaron el total de quince prácticas en las instalaciones de la escuela de Ingeniería Química, teniendo en cuenta todas las medidas de seguridad propias del trabajo de laboratorio manejando cuidadosamente cada una de las sustancias potencialmente

peligrosas según las fichas técnicas presentadas como anexos a los procedimientos, así mismo con la asesoría constante del personal encargado de los laboratorios, teniendo en cuenta que ellos constituyen una ayuda importante a todos los estudiantes que realizan trabajo de laboratorio.

### **3.2.2. VALIDACIÓN DE LAS PRÁCTICAS**

Cada práctica se realizó a manera de prueba corroborando que lo expuesto en cada uno de los procedimientos sea susceptible de ser logrado, para tal fin se validaron cada una de las prácticas, así mismo se generó un registro por cada práctica que contiene un resumen del procedimiento desarrollado, cálculos realizados, y conclusiones finales que demuestren la aplicabilidad por parte de los estudiantes posteriormente.

### **3.2.3. EDICIÓN DE LOS VIDEOS GUÍA**

Para cada práctica se realizó una filmación en tiempo real y posteriormente se ejecutó un trabajo de edición de video utilizando la herramienta “*Windows Movie Maker 2.1.*” como editor, así dio como resultado un número de quince videos guía uno para cada práctica, a continuación se enuncia el contenido generalizado de cada video guía:

- **Título del Video:** corresponde al título de la práctica.
- **Subtítulos:** cada subtítulo corresponde a determinado procedimiento por separado realizado en cada práctica llevando una secuencia de la experiencia.
- **Desarrollo del Video:** son los clips de video tomados en tiempo real en el cual se ilustra en detalle por parte de los autores del proyecto como realizar cada una de las prácticas acompañadas de una breve explicación relacionada con el tema a desarrollar para ayudar a la comprensión del fenómeno de estudio.

- **Preguntas Guías:** se realizaron preguntas a lo largo del video a manera de subtítulos, con el fin de lograr una asimilación de cada concepto teórico tratado en la práctica, estas preguntas se responden a si mismo en el desarrollo del video o a manera de subtítulo siguiente de diferente contorno de forma en forma textual para una mejor comprensión según sea el caso.
- **Resultados:** finalizado cada procedimiento experimental se muestra en el video datos, tablas o graficas que ilustren al estudiante el resultado de la experiencia en caso tal que no se pueda desarrollar la práctica directamente en el laboratorio.
- **Conclusiones:** concluido el desarrollo de los procedimientos presentados en el video se enuncian las conclusiones de la práctica realizada.
- **Créditos:** finalizando el video se nombran los realizadores de la práctica y la edición del video.

### **3.3. ETAPA DE SOCIALIZACION**

El proceso de implementación de prácticas de laboratorio está orientado a contribuir con el aprendizaje de los estudiantes mediante aplicaciones prácticas de conocimientos teóricos; partiendo de esta hipótesis se plantean unos objetivos de socialización y se formula la metodología pertinente para llevarlos a cabo.

#### **3.3.1. OBJETIVOS DE LA SOCIALIZACIÓN**

- Mostrar al estudiante el contenido del proyecto de Implementación de prácticas en su asignatura de interés.
- Evaluar la acogida del proyecto por parte de estudiantes y docentes involucrados en la propuesta del proyecto.
- Recibir aportes de parte de los estudiantes y docentes acerca de la temática y la metodología de trabajo.

### **3.3.2. METODOLOGÍA DE SOCIALIZACIÓN**

Conociendo la necesidad de realizar una evaluación de la percepción que deja en los estudiantes la idea de llevar a cabo el proceso de implementación, a continuación se presenta la metodología a utilizar para establecer el grado de aceptación del proyecto.

#### **3.3.2.1. Selección del método de evaluación**

Se escogió como método de evaluación la realización de una consulta a modo de encuesta a las partes interesadas luego de conocer y analizar el contenido de proyecto en la asignatura de su interés.

#### **3.3.2.2. Selección del personal consultado**

Se seleccionaron aleatoriamente cinco estudiantes por cada asignatura, además de un representante del cuerpo docente como personal de muestreo para la realización de la consulta.

#### **3.3.2.3. Formato de consulta**

Se presento el documento de consulta a cada uno de las personas, el cual consta de un total de 8 preguntas, este formato es idéntico para las asignaturas de la pregunta 1 a la 7, ya que la última pregunta hace énfasis en el grado de aceptación de cada una de las prácticas de cada asignatura.

El documento presentado en la consulta se expone en el Anexo A del presente libro.

#### **4. RESULTADOS DEL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN**

En esta etapa se presentan los resultados que arrojo la socialización del proyecto a partir de la metodología diseñada, además de presentar la estrategia implementada para facilitar la disponibilidad del material de trabajo elaborado.

##### **4.1. GRADO DE ACEPTACIÓN DEL PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN SEGÚN SUS DIFERENTES ETAPAS**

Los resultados de la consulta realizada se presentan gráficamente en el Anexo B del presente libro, a continuación se expone el análisis de estos resultados:

- Se consideran adecuados los temas abordados en las prácticas respecto al contenido temático presentado en el programa de cada una de las asignaturas incluidas en el proceso de implementación.
- Definitivamente se considera de gran utilidad presentar guías audiovisuales como alternativa de aplicación de conceptos en caso tal de no disponer de los medios para desarrollar directamente la experiencia en el laboratorio.
- A pesar de que la consulta sobre utilizar una motivación grafica como metodología de trabajo no arrojó la acogida esperada, se ha estipulado en la literatura que disponer de herramientas que promuevan la utilización de los sentidos como agente de entrada del conocimiento es de gran utilidad para desarrollar un aprendizaje significativo, por lo tanto se espera obtener unos mejores resultados en el momento que se efectúe la implementación directamente en el campo de trabajo.
- La consulta evidencio la presencia de dudas acerca del planteamiento según el cual desarrollar las prácticas en el laboratorio ayudan a desarrollar destrezas y habilidades en el estudiante, es posible que la causa de esto radica en el hecho que la consulta se realizo a manera de observación y no

fue posible desarrollar una práctica conjunta para sensibilizar a los estudiantes acerca de la importancia del trabajo de laboratorio como estrategia de desarrollo de una formación integral.

- En la consulta realizada acerca de si el desarrollo de las prácticas de laboratorio mejorarían la asimilación de conceptos y principios generales propios de las asignaturas; esta hipótesis fue ampliamente aceptada por dos de los tres grupos consultados, sin embargo el último grupo a pesar que el resultado fue favorable no es tan contundente la aceptación.
- Sobre la consulta acerca de la implementación en el corto plazo de las prácticas de laboratorio se presentan una serie de dudas por parte de los estudiantes, se hace necesario continuar con el proceso de implementación concertando entre estudiantes, profesores y directivos espacios para disponer de los recursos con los que cuenta la escuela en pro de un aprendizaje significativo del estudiantado.
- La expectativa de los estudiantes sobre la Implementación de las prácticas de laboratorio es muy favorable, lo cual facilita el proceso gracias a la motivación de las partes interesadas en la consecución de los objetivos.

#### **4.2. NIVEL DE APROBACION DE LAS PRACTICAS PROPUESTAS POR ASIGNATURAS**

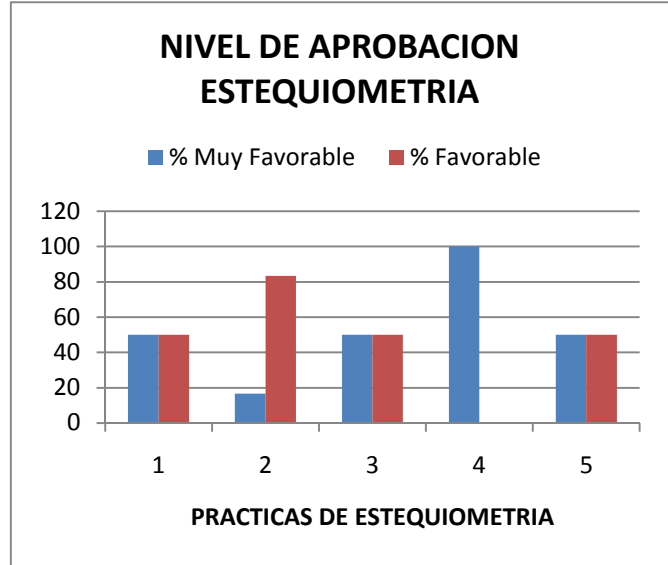
Los gráficos presentados a continuación solo evalúan el calificativo de FAVORABLE y MUY FAVORABLE a cada una de las prácticas presentadas, a pesar que en el formato de consulta se presentan a consideración más opciones de calificativos, sin embargo se presento ausencia de votos en las demás opciones, así mismo y por facilitar la ilustración de los resultados se tomaron las opciones de respuesta con participación.

#### 4.2.1. Nivel de aprobación de las prácticas de Estequiometria

Tabla 2. Practicas Estequiometria.

| # PRACTICA | NOMBRE   |
|------------|--|
| 1          | GENERACION HIDROGENO A PARTIR DE LA REACCION ENTRE UN ACIDO Y UN METAL |
| 2          | LEY DE LAS PROPORCIONES DEFINIDAS                                      |
| 3          | TERMOQUIMICA   |
| 4          | DESTILACION DE UNA MEZCLA BINARIA ETANOL-AGUA                          |
| 5          | PROCESO DE COMBUSTION  |

Figura 2. Nivel de Aprobación Estequiometria

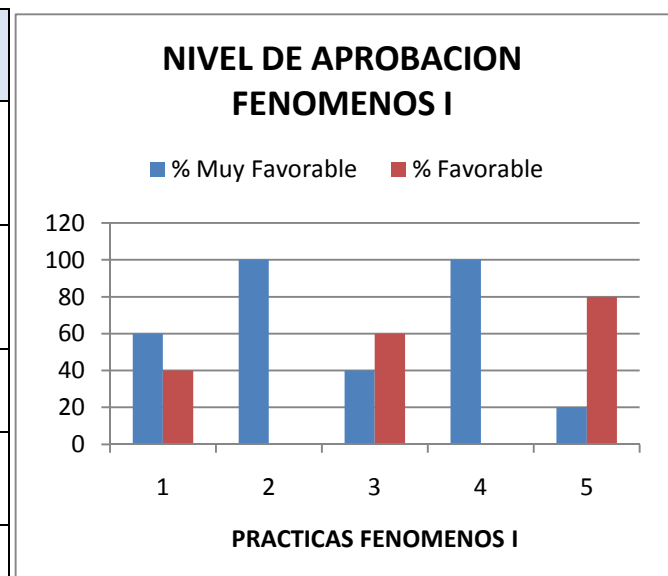


#### 4.2.2. Nivel de aprobación de las prácticas de Fenómenos I

Tabla 3. Prácticas Fenómenos I.

| # PRACTICA | NOMBRE  |
|------------|---|
| 1          | EFFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA VISCOSIDAD EN UN VISCOSIMETRO DE OTSWALD |
| 2          | CONDUCCIÓN Y PERDIDA DE CALOR A LO LARGO DE UNA BARRA METALICA              |
| 3          | DIFUSION DE KMnO4 EN AGUA   |
| 4          | CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA DE UN FLUIDO                                      |
| 5          | EFFECTO WEISSENBERG   |

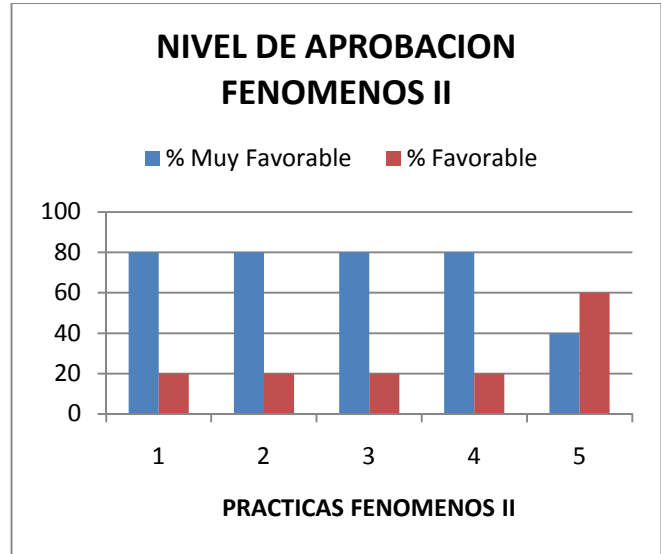
Figura 3. Nivel de aprobación Fenómenos I.



#### 4.2.3. NIVEL DE APROBACION DE LAS PRÁCTICAS FENOMENOS II

Tabla 4. Prácticas Fenómenos II. Figura 4. Nivel de aprobación Fenómenos II.

| # PRACTICA | NOMBRE  |
|------------|---|
| 1          | DETERMINACION DEL NÚMERO DE REYNOLDS  |
| 2          | DETERMINACION COEFICIENTE DE TRASFERENCIA DE CALOR                                |
| 3          | ETAPAS DEL PROCESO DE FLUIDIZACION  |
| 4          | DETERMINACION DE UNA CORRELACION PARA LA CAIDA DE PRESION EN LAS TORRES EMPACADAS |
| 5          | SIMULACION Y VALIDACION DE UNA ALETA APLICANDO LA HERRAMIENTA FEMLAB              |



ANALISIS DE LOS RESULTADOS DEL GRADO DE FAVORABILIDAD DE CADA UNA DE LAS PRÁCTICAS: observando las graficas anteriormente presentadas se puede afirmar que las prácticas fueron ampliamente aceptadas, evidenciando que las prácticas están acorde a las expectativas de los grupos consultados.

#### 4.3. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

Con el fin de facilitar el acceso al contenido del proyecto, se opto por realizar una aplicación que agrupe la documentación elaborada y los videos guía de cada una de ellas.

Para la realización de la herramienta se utilizo una plantilla disponible en internet, libre para ser modificada e introducir el contenido completo de la documentación.

La plantilla presenta una interfaz sobria y de fácil navegación, para la realización de la aplicación se trabajo en el programa *Adobe Dreamweaver*

CS4, en esta se dispuso en la página principal un resumen del contenido además de unas pestañas las cuales contienen cada una de los manuales separados por asignaturas con la posibilidad de ser descargados en formato PDF, así mismo es posible reproducir cada uno de los videos de las prácticas, estos por los requerimientos de la aplicación se encuentran en formato .flv, y esta aplicación se comprobó el estado de navegabilidad sin presentar alguna anomalía utilizando *Internet Explorer* y *Mozilla Firefox* como navegadores.

## 5. CONCLUSIONES

- Se elaboraron los manuales de prácticas de laboratorio para las asignaturas de Estequiometría, Fenómenos de transporte I y II; los cuales promueven la motivación del estudiante con el fin de desarrollar y optimizar las capacidades para relacionar aspectos teóricos con la experiencia de laboratorio y contribuir así con el aprendizaje significativo de la Estequiometría y los Fenómenos de Transporte, siendo fundamentales en el desarrollo de la Ingeniería Química.
- Los manuales se elaboraron bajo el fundamento teórico propio de los programas académicos de cada una de las asignaturas trabajadas, adoptando una metodología enseñanza-aprendizaje que promueva el interés en el estudiante hacia el estudio de conceptos que tradicionalmente se enseñan expositivamente en el aula de clase y alejados del laboratorio para un desarrollo integral.
- En el desarrollo de la Implementación se hizo énfasis en la sensibilización de las partes interesadas respecto a la metodología de trabajo propuesta, obteniendo una respuesta satisfactoria culminada la etapa de socialización, la cual dejó aportes muy relevantes en búsqueda de una mejor elaboración del material en beneficio del fortalecimiento de la reforma académica realizada en el plan de estudios de Ingeniería Química.
- El proceso de Implementación dejó como evidencia una herramienta computacional que agrupa todos los temas de trabajo propuestos y elaborados y que facilita el acceso a la información por parte de los interesados, ya que se expone de una manera clara y sencilla los recursos destinados para su desarrollo.

## 6. RECOMENDACIONES

- Se hace necesario dejar copias de la herramienta que contiene los manuales y los videos guía, en un lugar de frecuente uso y de fácil acceso por parte de los estudiantes, como lo sala de computo del edificio de Ingeniería Química.
- Resulta necesario continuar con el proceso de Implementación, optando por un compromiso de parte de los directivos, docentes y estudiantes; promoviendo tiempos y espacios dedicados al completo desarrollo del trabajo de laboratorio para la integración de las alternativas de aprendizaje.
- Es indispensable realizar periódicamente actividades de control, y medición sobre el desarrollo de la Implementación, fijando acciones correctivas y actualizaciones al material de ser necesario, fomentando un mejoramiento continuo en aras de una formación integral.
- Evaluar la posibilidad de incorporar nuevos procedimientos, a partir de alguna reforma al programa académico de las asignaturas y de los recursos disponibles en el futuro en las instalaciones de la escuela de Ingeniería Química.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] BIRD, Byron; STEWART, Warren; LIGHTFOOT, Edwin. Fenómenos de Transporte. 2da edición. México: Editorial Limusa S.A. 2006.
- [2] BROWN; Química Ciencia Central. 7ª edición. México: Ed Prentice Hall. 1998.
- [3] CHANG, Raymond. Química. Sexta edición, México Buenos Aires: Mc Graw Hill, 1999.
- [4] CRANE. Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías. Editorial Mc Graw Hill. 1987.
- [5] GRISKEY, Richard. Transport Phenomena and Unit Operations. New York: Editorial John Wiley & Sons, inc. 2002.
- [6] HIMMELBLAU, David. Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química. 6ª edición. México: Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A. 1997.
- [7] KERN, Donald. Procesos de Transferencia de Calor. Sexta edición. Madrid: Editorial Ceca. 1972.
- [8] LEVENSPIEL. Flujo de Fluidos e Intercambio de Calor. España: Editorial Reverté S.A. 1993.
- [9] MCCABE, W.L. Y COL. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 4ª. Edición. Madrid: Mc Graw Hill. 1996.
- [10] PERRY, Robert. Manual del Ingeniero Químico. Sexta edición. México: editorial Mc Graw Hill. 1992.
- [11] REKLAITIS. Balances de Materia y Energía. Editorial Mc Graw Hill. 1972
- [12] SABOGAL, Cesar; ÁLVAREZ, Mario: Estequiometría, Primera Impresión. Bucaramanga 1985.
- [13] VIKLUND, Andreas. Free Website Templates.2009. Disponible en internet:< <http://andreasviklund.com/templates/>>.

**ANEXO A**  
**FORMATO DE LA CONSULTA**  
**CONSULTA DE OPINIÓN SOBRE EL MANUAL DE PRÁCTICAS DE**  
**LABORATORIO Y MATERIAL AUDIOVISUAL PRESENTADOS PARA EL**  
**PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN**

Favor calificar las siguientes preguntas con valores de 1 siendo la calificación mas baja hasta 5 siendo esta la mas alta.

1. ¿Considera adecuado la selección de los temas abordados en las prácticas de acuerdo al contenido del nuevo programa de la asignatura?

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|   |   |   |   |   |

2. ¿Considera útil presentar material audiovisual de las prácticas presentadas para trabajo de laboratorio?

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|   |   |   |   |   |

3. ¿Considera adecuada la metodología utilizada, para direccionar el aprendizaje de tal manera que el estudiante se cuestione sobre el tema antes de iniciar el desarrollo de la práctica, a partir de una motivación grafica?

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|   |   |   |   |   |

4. ¿Ayudan las prácticas a desarrollar destrezas y habilidades en el estudiante, permitiendo la aplicación de conceptos de una forma sencilla?

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|   |   |   |   |   |

5. ¿Considera que el desarrollo de las prácticas en el laboratorio mejoraría la asimilación de conceptos y principios generales propios de la materia?

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|   |   |   |   |   |

6. ¿Considera viable la aplicación de las prácticas de laboratorio en el corto plazo para contribuir con el aprendizaje de la asignatura?

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|   |   |   |   |   |

7. ¿Qué tan interesante le parece la implementación de las prácticas de laboratorio para la asignatura?

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|   |   |   |   |   |

**OBSERVACIONES:**

**Estudiante** \_\_\_\_\_  
**Profesor** \_\_\_\_\_

**Cod.** \_\_\_\_\_

## FORMATO DE CONSULTA DEL NIVEL DE APROBACIÓN DE LAS PRÁCTICAS POR ASIGNATURA

Calificar cada práctica según el grado de favorabilidad que le otorgue respecto a la relevancia de esta con el contenido de la materia:                      Muy Favorable: MF

Favorable: F                      Muy Desfavorable: MDF                      Desfavorable: DF

No Sabe / No Responde: NS/NR

### ESTEQUIOMETRIA

| NOMBRE DE LA PRACTICA   | MF | F | DF | MDF | NS / NR |
|---|----|---|----|-----|---------|
| GENERACION DE HIDROGENO A PARTIR DE LA REACCION ENTRE UN ACIDO Y UN METAL |    |   |    |     |         |
| LEY DE LAS PROPORCIONES DEFINIDAS   |    |   |    |     |         |
| TERMOQUIMICA  |    |   |    |     |         |
| DESTILACION DE UNA MEZCLA BINARIA (ETANOL-AGUA) A REFLUJO                 |    |   |    |     |         |
| PROCESO DE COMBUSTION   |    |   |    |     |         |

### FENOMENOS DE TRANSPORTE I

| NOMBRE DE LA PRACTICA   | MF | F | DF | MDF | NS / NR |
|---|----|---|----|-----|---------|
| EFEECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA VISCOSIDAD USANDO EL VISCOSIMETRO DE OTSWALD |    |   |    |     |         |
| CONDUCCIÓN Y PERDIDA DE CALOR A LO LARGO DE UNA BARRA METALICA                  |    |   |    |     |         |
| DIFUSION DE $KMnO_4$ EN AGUA  |    |   |    |     |         |
| CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA DE UN FLUIDO LABORATORIO                              |    |   |    |     |         |
| EFEECTO WEISSENBERG   |    |   |    |     |         |

## FENOMENOS DE TRANSPORTE II

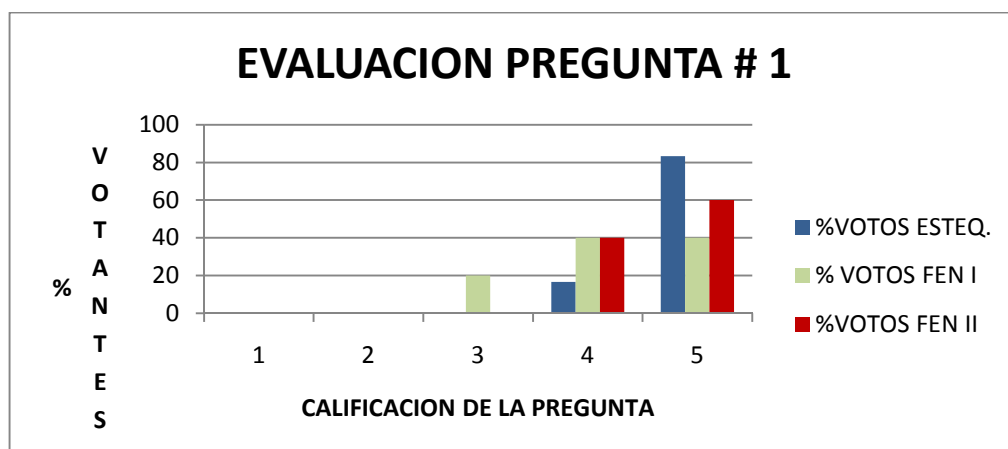
| <b>NOMBRE DE LA PRACTICA</b>   | <b>MF</b> | <b>F</b> | <b>DF</b> | <b>MDF</b> | <b>NS / NR</b> |
|--|-----------|----------|-----------|------------|----------------|
| DETERMINACION DEL NÚMERO DE REYNOLDS   |           |          |           |            |                |
| DETERMINACION COEFICIENTE DE TRASFERENCIA DE CALOR   |           |          |           |            |                |
| ETAPAS DEL PROCESO DE FLUIDIZACION   |           |          |           |            |                |
| DETERMINACION DE UNA CORRELACION PARA LA CAIDA DE PRESION EN LAS TORRES EMPACADAS DE LABORATORIO |           |          |           |            |                |
| SIMULACION Y VALIDACION DE UNA ALETA APLICANDO LA HERRAMIENTA FEMLAB                             |           |          |           |            |                |

## ANEXO B

### RESULTADOS DE LA CONSULTA

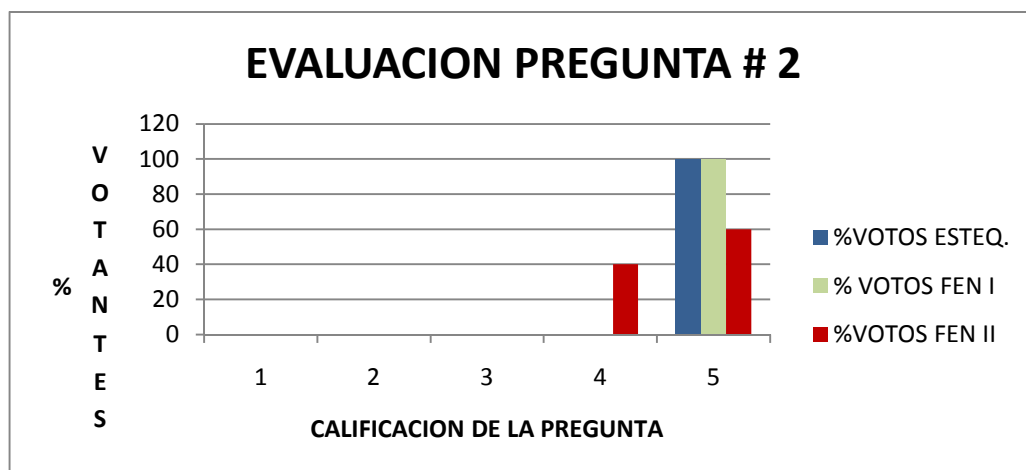
1. ¿Considera adecuado la selección de los temas abordados en las prácticas de acuerdo al contenido del nuevo programa de la asignatura?

Figura 1. Resultados evaluación pregunta # 1 de la consulta



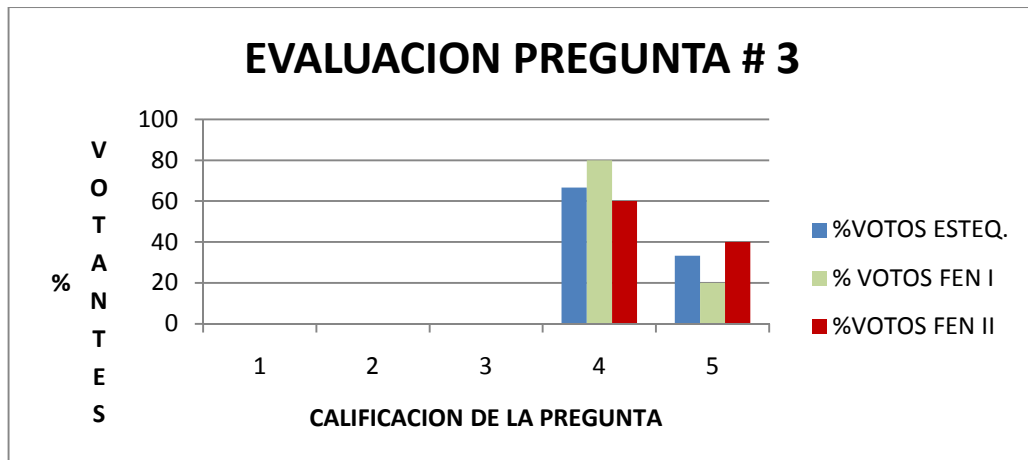
2. ¿Considera útil presentar material audiovisual de las prácticas presentadas para trabajo de laboratorio?

Figura 2. Resultados evaluación pregunta # 2 de la consulta



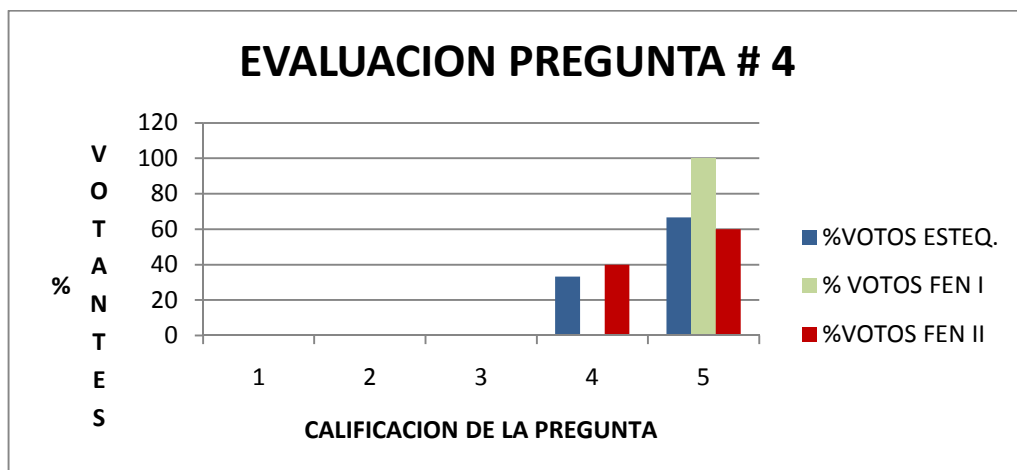
3. **¿Considera adecuada la metodología utilizada, para direccionar el aprendizaje de tal manera que el estudiante se cuestione sobre el tema antes de iniciar el desarrollo de la práctica, a partir de una motivación grafica?**

*Figura 4. Resultados evaluación pregunta # 3 de la consulta*



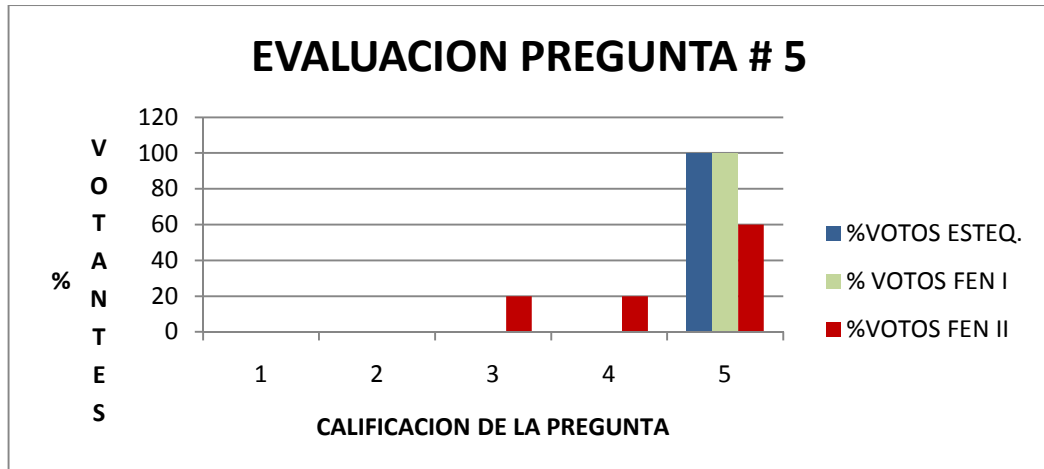
4. **¿Ayudan las prácticas a desarrollar destrezas y habilidades en el estudiante, permitiendo la aplicación de conceptos de una forma sencilla?**

*Figura 5. Resultados evaluación pregunta # 4 de la consulta*



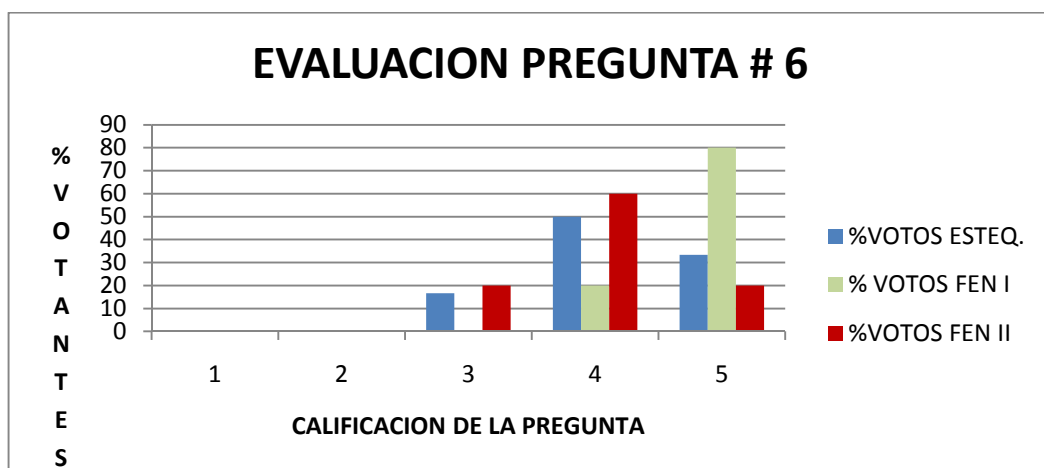
5. **¿Considera que el desarrollo de las prácticas en el laboratorio mejoraría la asimilación de conceptos y principios generales propios de la materia?**

Figura 6. Resultados evaluación pregunta # 5 de la consulta



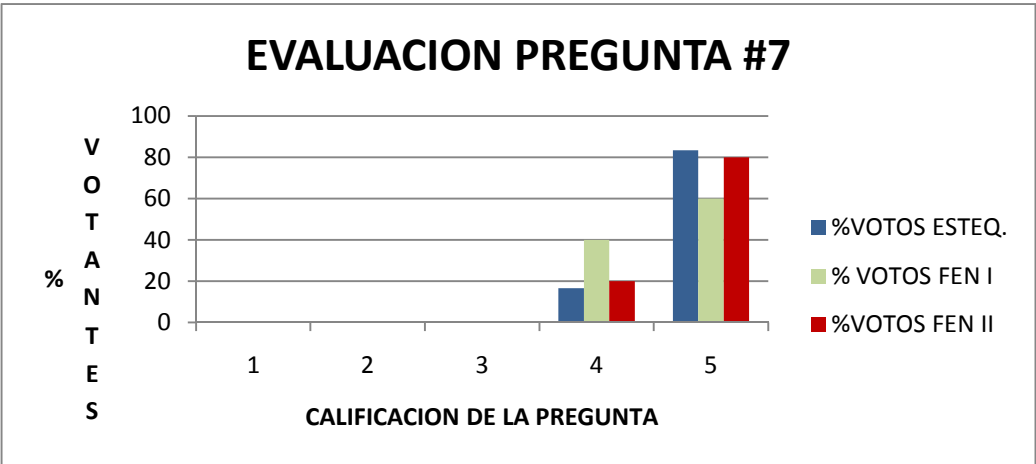
6. **¿Considera viable la aplicación de las prácticas de laboratorio en el corto plazo para contribuir con el aprendizaje de la asignatura?**

Figura 7. Resultados evaluación pregunta # 6 de la consulta




**7. ¿Qué tan interesante le parece la implementación de las prácticas de laboratorio para la asignatura?**

*Figura 8. Resultados evaluación pregunta # 7 de la consulta*



**ANEXO C**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO ESTEQUIOMETRÍA**

|  |  |                |                      |       |
|--|--|----------------|----------------------|-------|
|         | <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b><br><b>LABORATORIO DE ESTEQUIOMETRÍA</b> |                | FECHA                | GRUPO |
|  | <b>MANUAL DE PROCEDIMIENTOS</b>  |                | <b>PRÁCTICA N° 1</b> |       |
| <b>ELABORÓ:</b>  |  | <b>REVISÓ:</b> |                      |       |
| <b>TITULO: GENERACIÓN DE HIDROGENO A PARTIR DE LA REACCIÓN ENTRE UN ÁCIDO Y UN METAL</b> |  |                |                      |       |

**1. OBJETIVO GENERAL**

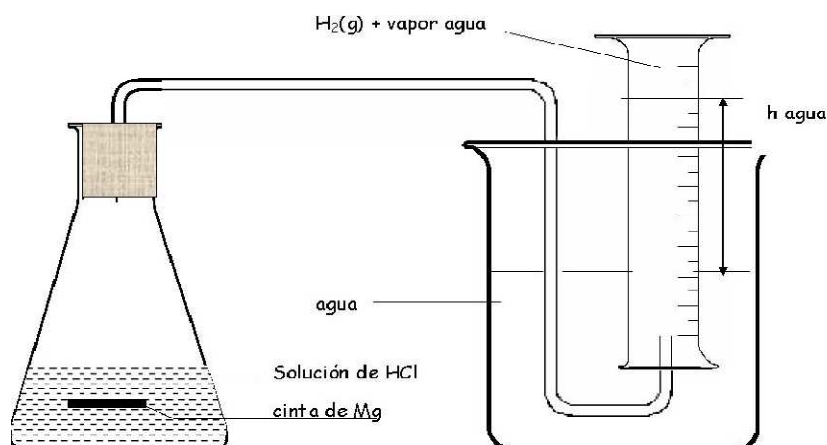
- ◆ Estudiar las relaciones masa y mol de una reacción de producción de hidrogeno.

**2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- ◆ Realizar el montaje del equipo experimental para la obtención de hidrogeno.
- ◆ Reconocer la proporción en las que intervienen las moléculas de reactivos y productos en esta reacción química.
- ◆ Evaluar el rendimiento de una reacción química.
- ◆ Plantear reacciones químicas con intercambio de iones del tipo de sustitución.
- ◆ Aplicar la ecuación general de un gas ideal y la ley de Dalton para una mezcla de gases.

### 3. MOTIVACIÓN

Figura 1. Montaje Producción de hidrogeno. [1]



### 4. PREGUNTAS GUÍAS

1. ¿Qué motivo cree usted que tenga el montaje de la figura 1?
2. ¿Por qué cree necesario el uso de tapón en el erlenmeyer?
3. ¿Dónde se recopilara el hidrogeno producido y que sustancia (s) quedara (n) en el erlenmeyer?
4. ¿Escriba la reacción que se está llevando a cabo?
5. ¿Debido a que propiedad del hidrogeno se puede recopilar este dentro de una bureta llena de agua?
6. ¿Qué sucedería si se deja entrar un poco de aire en la bureta al momento de sumergirla?
7. ¿Qué otros elementos se pueden utilizar para la producción de hidrogeno, por que el Fe y el Zn, aunque sirven para la producción de hidrogeno no son tan usados para tal fin?

8. ¿Cómo cree que se determina la masa de hidrogeno producto de la reacción?

9. ¿Qué otros procesos de producción de hidrogeno conocen?

## 5. FUNDAMENTO TEÓRICO

La estequiometria es el estudio de las relaciones de mol, masa, energía y volumen en las reacciones químicas; en otras palabras es la medición de las cantidades relativas de los reactantes, indudablemente este estudio estequiometrico interviene en todo proceso donde se lleve a acabo una reacción, hacer un estudio de este tipo colaboraría estimando cantidades a utilizar, para conocer si se está derrochando determinado reactivo.[2] Una reacción química completa y balanceada proporciona mas información que el simple señalamiento de cuales sustancias con reactivos y cuales son productos. Las reacciones químicas se representan mediante ecuaciones químicas por ejemplo el oxigeno puede reaccionar con el hidrogeno para dar agua la ecuación química de esta reacción se escribe:[3]



El mas se lee como “reacciona con” y la flecha significa “produce”, las formulas químicas a la izquierda de la flecha representan las sustancias de partida denominadas reactivos. A la derecha de la flecha se encuentran las sustancias producidas denominadas productos, los números al lado de cada formula se denominan coeficientes. El reactivo límite es el que primero se consume y limita la reacción.[3][4]

Reacción magnesio con acido clorhídrico para producir hidrogeno y sal:



Para determinar el rendimiento de la reacción se calcula las moles de reactivo limite y después el hidrogeno teórico producido.

Se mide el volumen de hidrogeno obtenido en la bureta de gases con el cual se obtiene los moles producidos de hidrogeno con el uso de la ecuación de gases ideales:

$$PV=NRT \quad (1)$$

Ley de presiones parciales de Dalton:

En el momento en que cesa el movimiento de la columna de agua que desplaza el hidrogeno se han igualado las presiones la atmosférica y la interna la cual según Dalton es una suma de presiones la del gas hidrogeno y la que produce el vapor de agua:

$$P_{atm} = P_{H_2} + P_{vH_2O} \quad (2)$$

$$P_{H_2} = P_{atm} - P_{vH_2O} \quad (3)$$

Donde  $P_{atm}$  y  $P_{vH_2O}$  dependen de la temperatura a la que se trabajo.

$t = 28 \text{ C}; \underline{301 \text{ K}}$

Presión atmosférica (28 c) = Presión atmosférica de Bucaramanga

Presión vapor (28 c) = 25,21 mm Hg. [6]

Una vez aplicadas esta ley y la ecuación de gases ideales se obtiene las moles de hidrogeno producido con la cual se puede determinar el rendimiento de la reacción.

La reacción de magnesio y acido clorhídrico es una reacción espontanea por lo cual no necesita calor para que suceda, produciendo hidrogeno el cual es un gas insoluble en agua propiedad que ayuda a la medición del volumen de este hidrogeno por el método aplicado en esta práctica debido a que Los gases se difunden para llenar completamente cualquier recipiente en el que se les almacene, y al no ser soluble en un medio este se desplaza por efecto de la presión que empieza generar el gas sobre el liquido que impide el paso a este.[7]

## 6. EQUIPOS Y MATERIALES

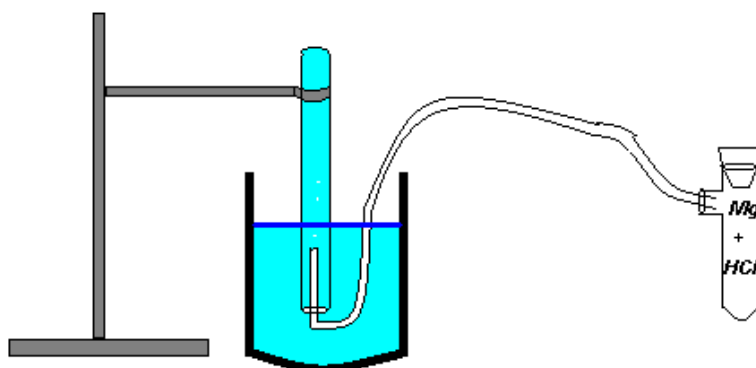
- ◆ Acido Clorhídrico.
- ◆ Balanza analítica
- ◆ Magnesio
- ◆ Agua destilada
- ◆ Termómetro
- ◆ pipeta 1 ml
- ◆ pera
- ◆ Vaso precipitados 2000 ml
- ◆ Tubo con salida lateral
- ◆ manguera
- ◆ Tapón
- ◆ Bureta para gases 100 ml
- ◆ Soporte y pinzas
- ◆ Guantes, gafas y mascara.

## 7. PROCEDIMIENTO

Precaución: el hidrogeno forma con el oxigeno del aire mezclas explosivas, recomendable hacer la practica en una cabina extractora.

- Pesar una cantidad de Mg con un valor máximo de *0,18 recomendable pesar 0,1 (debido a que tenemos bureta de 100 ml)*
- Calcular cantidad necesaria de HCl necesaria para el magnesio pesado según la reacción.
- Armar un dispositivo para la obtención de gas hidrógeno:

Figura 2. Montaje Producción de Hidrogeno



- Llenar un vaso de precipitados hasta aproximadamente  $\frac{3}{4}$  de su capacidad en el cual se sumerge la bureta de gases llena de agua boca abajo evitando que entre aire en la bureta,
- Colocar el extremo libre de la manguera por dentro de la bureta .ver figura 1
- Sujetar la bureta con una pinza al soporte universal en la cámara extractora.
- Medir la cantidad necesitada de HCl en una pipeta de 1 ml e introducir esta cantidad en el tubo de ensayo con salida lateral.
- Depositar la cinta magnesio dentro del tubo y colocar el tapón.
- Tomar medida del volumen de hidrogeno producido y medir temperatura a la cual se está produciendo.


## 8. RESULTADOS

- Plantear la ecuación química de la reacción balanceada.
- A partir de la ley de las presiones parciales de Dalton plantear las relaciones entre las presiones parciales de los componentes del gasómetro y la presión atmosférica explique esa relación.
- Evaluar la presión parcial del hidrogeno desde el balance de presiones.
- Suponiendo un comportamiento ideal de los gases, calcular el número de moles correspondiente a la presión parcial de hidrógeno.

- Calcular el rendimiento de la reacción.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gersón; Andrés: Determinación de la Masa Molar de Magnesio. [En Línea]. (Consultado el 10 de junio del 2009). Disponible en < <http://www.monografias.com/trabajos10/masa/masa.shtml> >
- [2] VALDIVIA, Claudia: Estequiometria. [En Línea]. (Consultado el 9 septiembre 2009) disponible en< <http://www.slideshare.net/valdys/estequiometria-ii-presentation> >
- [3] KENNET,W; KENNET, D; RAYMOND, E. Química General. 3 Edición. México. Mc Graw Hill. 1992.
- [4] CHANG, Raymond, Química sexta edición, México Buenos Aires, Mc Graw Hill, 1999.
- [5] TLV: Teoría del Vapor. Ley de Dalton de Presión Parcial. Japón.[En Línea]. (Consultado el 11 septiembre 2009) disponible en < <http://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/steam-partial-pressure-pt1.html> >
- [6]CAMPAÑA, ROBERTO: mecánica de Fluidos. Presión de Vapor. Pag 1. [En Línea]. (Consultado el 8 septiembre del 2009). Disponible en < <http://www.imefen.uni.edu.pe/mfluidos/3ra-clase.pdf>>
- [7] TEXTOS CIENTÍFICOS: El Hidrogeno. Presencia en la Naturaleza. Febrero 2006. [En Línea]. (Consulado el 12 septiembre del 2009). Disponible en < <http://www.textoscientificos.com/quimica/hidrogeno> >

|   |  |                |                      |       |
|---|--|----------------|----------------------|-------|
|  | <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b><br><b>LABORATORIO DE ESTEQUIOMETRÍA</b> |                | FECHA                | GRUPO |
|   | <b>MANUAL DE PROCEDIMIENTOS</b>  |                | <b>PRÁCTICA N° 2</b> |       |
| <b>ELABORÓ:</b>   |  | <b>REVISÓ:</b> |                      |       |
| <b>TITULO: LEY DE LAS PROPORCIONES DEFINIDAS</b>                                  |  |                |                      |       |

### 1. OBJETIVO GENERAL

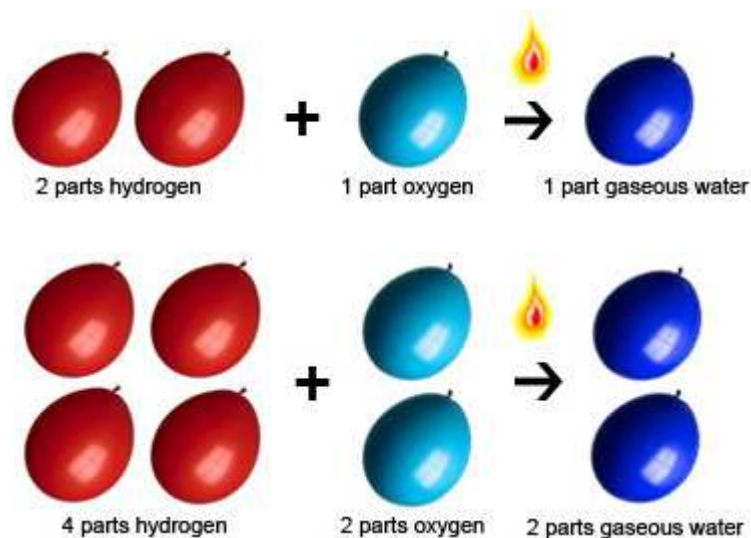
- ◆ Reconocer de una manera sencilla el cumplimiento de la ley de las proporciones definidas.

### 2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ◆ Reconocer que cuando los dos elementos se combinan para formar un compuesto lo hacen en proporciones fijas y definidas.
- ◆ Reconocer la ley de las proporciones definidas como ley ponderales.

### 3. MOTIVACIÓN

*Figura 1. Ley Proporciones Definidas [1]*



#### **4. PREGUNTAS GUÍAS**

1. ¿Por qué cree que se ilustran los anteriores esquemas, que se quiere dar a mostrar?
2. ¿En qué consiste la ley de proporciones definidas y múltiples quien postulo cada una?
3. ¿Cree usted que siempre se cumplen estas dos leyes, en caso de responder no explique su razón?
4. ¿Qué piensa que sucedería si se combinara 9 gramos de oxígeno con 1 gramo de hidrógeno sabiendo que la relación es de 8 gramos de oxígeno por 1 gramo de hidrógeno?
5. ¿Cómo creen que se puede demostrar la ley de las proporciones definidas?
6. ¿Se podría demostrar cuantificando las gotas de un reactivo utilizadas para que reaccione con los otros reactivos cambiando las cantidades de gotas de cada reactivo?
7. ¿Si la respuesta anterior es afirmativa que es lo que debe conservarse?
8. ¿Cómo creen que en determinado momento se ha llevado a cabo la reacción, mencione algún acontecimiento que represente que se llevo a cabo la reacción?
9. ¿Se propone contar las gotas de tiosulfato de sodio hasta que la solución de permanganato cambie de color es eso valido?

#### **5. FUNDAMENTO TEÓRICO**

La estequiometria es la parte de la química que estudia las relaciones entre las cantidades de las sustancias, las que son determinadas tanto por sus formulas

como por las ecuaciones químicas que representan sus transformaciones. Para establecer dichas relaciones se utilizan varios principios:[2]

Ley proporciones definidas: Cuando dos o más elementos se combinan para formar un determinado compuesto lo hacen en una relación en peso constante independientemente del proceso seguido para formarlo. Esta ley también se puede enunciar desde otro punto de vista.[3]

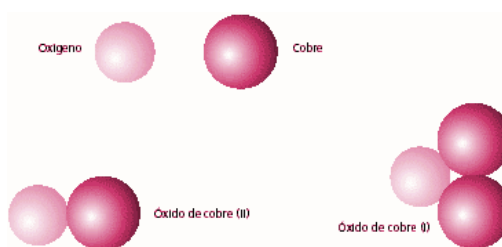
Para cualquier muestra pura de un determinado compuesto los elementos que lo conforman mantienen una proporción fija en peso, es decir, una proporción ponderal constante.[4]

Estos delicados análisis fueron realizados sobre todo por el químico sueco BERZELIUS (1779 - 1848). No obstante, será el francés PROUST, en 1801, quien generalice el resultado enunciando la ley a la que da nombre.[4]

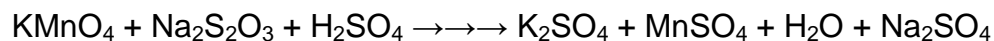
La ley de las proporciones definidas no fue inmediatamente aceptada al ser combatida por BERTHOLLET, el cual, al establecer que algunas reacciones químicas son limitadas, defendió la idea de que la composición de los compuestos era variable. Después, de numerosos experimentos pudo reconocerse en 1807 la exactitud de la ley de Proust. No obstante, ciertos compuestos sólidos muestran una ligera variación en su composición, por lo que reciben el nombre de "berthóllidos". Los compuestos de composición fija y definida reciben el nombre de "daltónidos" en honor de DALTON.[4]. El agua es un compuesto puro, conformado por átomos de hidrógeno y oxígeno. En cualquier muestra de agua pura, siempre habrá dos átomos de hidrógeno por cada átomo de oxígeno, y la proporción de masa entre ambos elementos siempre será 88,81% de oxígeno y 11,20% de hidrógeno (1 gramos hidrogeno porcada 8 gramos de oxigeno). Lo anterior no quiere decir que siempre los elementos se mezclen en una sola proporción por ejemplo en este caso el cobre y el oxigeno tienen la capacidad de formar oxido

cúprico y el óxido cuproso dos compuestos diferentes, donde los elementos se combinan en relaciones enteras pero cada uno a diferente proporción.[5]

Figura 2. Ley Proporciones Múltiples. [6]



En este experimento se hará reaccionar permanganato de potasio con tiosulfato de sodio en presencia de un exceso de ácido sulfúrico según la ecuación. [2]



Donde:

El peso equivalente del  $\text{KMnO}_4$  es:

$$P_{\text{equ}} = 1 \text{ equ} / 158 \text{ g KMnO}_4$$

Peso equivalente tiosulfato de sodio:

$$P_{\text{equ}} = 1 \text{ equ} / 158 \text{ g Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$$

Para comprobar la ley de proporciones definidas se propone hacer una relación entre los volúmenes gastados hasta el momento en que se lleva a cabo la reacción:

Si la densidad de  $\text{KMnO}_4$  y  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  se mantienen constantes durante todos los procesos y suponiendo las gotas utilizadas de cada reactivo poseen un mismo volumen, la relación de volúmenes sería la misma relación de peso:

$$K = (\text{Vol}_{\text{KMnO}_4} / \text{Vol}_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}) = (\text{Vol}_{\text{KMnO}_4} / \text{Vol}_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}) * (\rho_{\text{KMnO}_4} / \rho_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}) =$$

$$K = (\text{Masa}_{\text{KMnO}_4} / \text{Masa}_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3})$$

Donde K es la relación de peso constante.

## 6. EQUIPOS Y MATERIALES

- ◆ Acido sulfúrico concentrado.
- ◆ Solución de tiosulfato de sodio pentahidratado 0,1 N
- ◆ Solución de permanganato de potasio 0,1 N
- ◆ 1 Pipeta 10 ml
- ◆ 2 pipetas o frascos agitadores
- ◆ 1 Agitador
- ◆ Agua destilada
- ◆ 5 tubos de ensayo
- ◆ Pinzas

## 7. PROCEDIMIENTO

### Ley proporciones definidas:

1. Coloque de 2 a 8 gotas de la solución acuosa del permanganato de potasio en un tubo de ensayo. Y anote dicho número.
2. Agregue agua destilada hasta llenar la mitad del tubo y 5 gotas de ácido sulfúrico concentrado.
3. Añada luego, gota a gota solución de tiosulfato de sodio, agitando después de agregar cada gota y esperando un tiempo suficiente para

ver si desaparece o no el color debido al permanganato (hasta alrededor de 5 seg.). Cuando al agregar una gota de tiosulfato, agitar etc. la coloración desaparezca definitivamente, anote también el número de gotas de tiosulfato de sodio utilizadas.

4. Divida el número de gotas de la solución de permanganato de potasio entre las de solución de tiosulfato de sodio.
5. Repita todo el procedimiento descrito hasta ahora, cuatro veces, usando 2 gotas de permanganato de potasio más que en el proceso anterior.
6. Compare los 4 cocientes obtenidos al dividir las gotas de permanganato entre las gotas de tiosulfato para cada uno de los ensayos.

## 8. RESULTADOS


### Ley de proporciones definidas

- Tabule la cantidad de tiosulfato para 2, 4, 6, 8 gotas de permanganato de potasio y el cociente de estas cantidades.
- Comprobar la relación entera entre el permanganato de potasio y el tiosulfato de sodio.
- Considera comprobada la ley de las proporciones definidas.
- En caso de que no haya sido demostrada la ley con las instrucciones anteriores a que se lo atribuye.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Introducción al conocimiento de la materia. [En Línea]. (Consultado el 7 de septiembre 2009). Disponible en <http://www.itfuego.com.ar/apuntes/modulo%201/intro.htm>
- [2] SOTO Abraham: Manual Prácticas de Laboratorio de Química, practica No. 9.

- [3] DÍAZ Carlos: ley de las proporciones definidas. Almería. España: e-mail: cdpdp@ono.com, [en línea], [consultado el 11 sep. 2009]. Disponible <  
<http://cdpdp.blogspot.com/>>
- [4] FERNÁNDEZ Joaquín: Leyes ponderales; ley de proporciones definidas. Uned. [En Línea]. (Consultado el 9 sep. 2009). Disponible en <  
<http://encina.pntic.mec.es/~jsaf0002/p31.htm> >
- [5] Estequiometría: leyes químicas.2009. [En Línea]. (Consultado el 11 septiembre 2009). Disponible en <  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_las\\_proporciones\\_constantes](http://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_las_proporciones_constantes) >
- [6] ETENGABEKO, IKASKUNTZA: Aprendizaje Permanente: ley de Dalton. [En Línea] (Consultado el 1 septiembre 2009). Disponible en <  
[http://www.hiru.com/es/kimika/kimika\\_00900.html](http://www.hiru.com/es/kimika/kimika_00900.html) >

|   |  |                |                      |       |
|---|--|----------------|----------------------|-------|
|  | <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b><br><b>LABORATORIO DE ESTEQUIOMETRÍA</b> |                | FECHA                | GRUPO |
|   | <b>MANUAL DE PROCEDIMIENTOS</b>  |                | <b>PRÁCTICA N° 3</b> |       |
| <b>ELABORÓ:</b>   |  | <b>REVISÓ:</b> |                      |       |
| <b>TITULO: TERMOQUÍMICA</b>   |  |                |                      |       |

### 1. OBJETIVO GENERAL

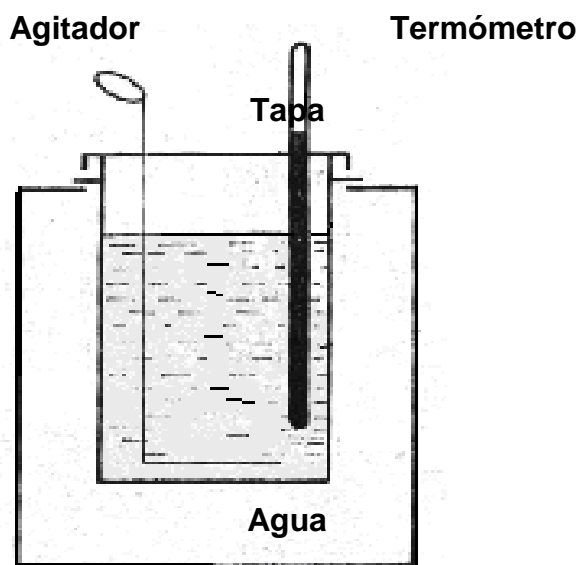
- ◆ Observar que las reacciones químicas suelen ir acompañadas de absorción o desprendimiento de calor.

### 2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ◆ Medir las entalpías de neutralización de varias reacciones y compararlas.
- ◆ Aplicar la ley de Hess al cálculo de una entalpía de reacción.

### 3. MOTIVACIÓN

*Figura 1. Calorímetro [1]*



#### 4. PREGUNTAS GUÍAS

1. ¿Qué es un sistema termodinámico?
2. ¿Qué es la termoquímica?
3. ¿Qué es un calorímetro, como podría armar uno?
4. ¿Cuál es la diferencia entre una reacción exotérmica y una endotérmica?
5. ¿Qué es una reacción de neutralización?
6. ¿Qué aplicabilidad tiene las entalpías estándar de formación?
7. ¿Si una reacción  $A \rightarrow B$  se requiere saber su requerimiento energético y se tienen las energías para las transiciones de  $C \rightarrow B$  Y de  $C \rightarrow A$ . Cree ud que con esos valores se podría determinar dicha energía Explique?

#### 5. FUNDAMENTO TEÓRICO

Este párrafo esta propuesto para resaltar la aplicación de la termoquímica la cual busca industrialmente explotar todos aquellos procesos con alto contenido energético donde como punto de partida se puede mencionar: Los Procesos de almacenado de energía solar para la producción de combustibles, Producción solar de hidrogeno, Producción solar de cemento, Producción de metales cerámicos y sustratos etc.

##### 5.1. Termoquímica

La mayoría de los procesos químicos transcurre con un intercambio de energía entre el sistema que reacciona y el medio. El estudio de estos intercambios de energía constituye el objeto de la termodinámica química. En gran parte de los

casos la energía se intercambia únicamente en forma de calor y recibe el nombre de **termoquímica** la rama de la termodinámica que se ocupa exclusivamente de la energía calorífica asociada a un determinado cambio químico. Desde el punto de vista del calor intercambiado, las reacciones se clasifican en **exotérmicas** (si van acompañadas de desprendimiento de calor) y **endotérmicas** (sí se absorbe calor del medio durante el proceso). Si la reacción transcurre sin absorción ni desprendimiento de calor, se dice que es termoneutra; estas reacciones son poco frecuentes.[1]

## 5.2. Calorímetro

Para medir el intercambio de calor que acompaña a una reacción química se emplea un recipiente cerrado y térmicamente aislado de los alrededores denominado *calorímetro*. Si la medida del calor se realiza a presión constante, el valor obtenido es la entalpía de reacción. El calor liberado en los procesos que tengan lugar en este calorímetro en parte se invertirá en aumentar la temperatura de la mezcla de reacción y en parte será transferido al calorímetro. Con el fin de tener esto en cuenta y efectuar las correcciones pertinentes en las medidas, se debe estimar la cantidad de calor que el calorímetro absorbe en cada caso. Para ello calcularemos su "equivalente calorífico en agua". Además se toma la consideración de 0 pérdida de calor en la parte superior del calorímetro que se propuso.[1]

## 5.3. Ley de Hess.

La energía intercambiada durante cualquier cambio químico a presión constante es siempre la misma, prescindiendo del camino por el cual ocurre el cambio.[2]

El cambio de entalpía,  $\Delta H_{A \rightarrow B}$ , para la reacción  $A \rightarrow B$  se puede calcular sumando los cambios de entalpía para una serie de pasos intermedios.  $A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow B$

Así,  $\Delta H_{A \rightarrow B} = \Delta H_{A \rightarrow C} + \Delta H_{C \rightarrow D} + \Delta H_{D \rightarrow B}$ . Este concepto es sobre todo útil en el cálculo del cambio de entalpía para las reacciones que no son fáciles de observar o medir directamente.[1][3]

#### 5.4. Calor de neutralización

La neutralización de soluciones acuosas diluidas de un ácido por medio de una solución acuosa diluida de una base, es un tipo particular de reacción química; es una reacción de neutralización. La neutralización de una solución acuosa de HCl con una solución de NaOH puede ser representada por la siguiente ecuación:[4]



El calor de reacción  $\Delta H^{\circ}_{25^{\circ}\text{C}}$  puede calcularse a partir de los respectivos calores de formación  $\Delta H^{\circ}_f$ , a saber:[1]

$$\Delta H^{\circ}_f \text{ NaOH (ac) } -112,236 \text{ Kcal} \quad \Delta H^{\circ}_f \text{ HCl (ac) } -40,023 \text{ Kcal}$$

$$\Delta H^{\circ}_f \text{ NaCl (ac) } -97,302 \text{ Kcal} \quad \Delta H^{\circ}_f \text{ H}_2\text{O (l) } 683,17 \text{ Kcal}$$

#### 6. EQUIPOS Y MATERIALES

- ◆ Calorímetro.
- ◆ Termómetro.
- ◆ Placa calefactora.
- ◆ Probeta.
- ◆ Vaso de precipitados.
- ◆ Hidróxido de sodio 2M.
- ◆ Ácido clorhídrico 2M.
- ◆ Ácido acético 2M.
- ◆ Amoníaco 2M
- ◆ Cloruro de amonio

#### 7. PROCEDIMIENTO

##### 7.1. Cálculo del equivalente calorífico en agua del calorímetro.

- Colocar en el calorímetro 80 ml de agua a temperatura ambiente  $T_1$ .
- Calentar en un vaso de precipitados otros 80 ml de agua hasta una temperatura  $T_2$ , veinte grados superior a la anterior, y añadirlos al calorímetro.
- Anotar el tiempo y agitar suavemente el calorímetro con movimientos circulares.
- Anotar la temperatura a intervalos de un minuto durante cinco minutos.

## 7.2. determinación de entalpías de neutralización

a) Reacción de neutralización de un ácido fuerte por una base fuerte:

- Colocar en el calorímetro 40 ml de una disolución de hidróxido de sodio 2M a temperatura ambiente.
- Preparar un vaso a la misma temperatura con 40 ml de una disolución de ácido clorhídrico 2M.
- Añadirlo al calorímetro y anotar las temperaturas con la mayor precisión posible en función del tiempo como en el apartado anterior.

b) Reacción de neutralización de un ácido débil por una base fuerte:

Repetir el proceso del apartado anterior empleando 40 ml de una disolución de hidróxido de sodio 2M y 40 ml de una disolución de ácido acético 2M.

## 7.3. Determinación de entalpías de reacción y aplicación de la ley de Hess.

En esta experiencia se determina primero la entalpía de neutralización de  $\text{HCl}_{(ac)}$  con  $\text{NH}_3_{(ac)}$ , y la de disolución de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  en agua. Esos valores se usarán para calcular la entalpía de descomposición de  $\text{NH}_4\text{Cl}(s)$ , aplicando la Ley de Hess.

a) Determinación de la entalpía de disolución del cloruro de amonio:

- Pesar entre 10 y 11 gramos de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  sólido.

- Medir 50 ml de agua destilada, anotar su temperatura cuando permanezca estable y ponerlos en el calorímetro.
- Añadir el  $\text{NH}_4\text{Cl}$  sólido al calorímetro y anotar la temperatura con intervalos de 1 minuto mientras se agita el calorímetro.

b) Determinación de la entalpía de la reacción de ácido clorhídrico con amoníaco:

- Medir 50 ml de  $\text{HCl}_{(ac)}$  2M, anotar la temperatura de la disolución y, cuando permanezca estable, ponerlos en el calorímetro.
- Medir 50 ml de  $\text{NH}_3_{(ac)}$  2M usando una probeta limpia y seca y anotar la temperatura de la disolución cuando permanezca estable.
- Añadir el  $\text{NH}_3_{(ac)}$  al calorímetro y anotar la temperatura con intervalos de 1 minuto, durante cinco minutos, mientras se agita el calorímetro.

c) Aplicar la ley de Hess para calcular  $\Delta H$  para la reacción de descomposición del cloruro de amonio:



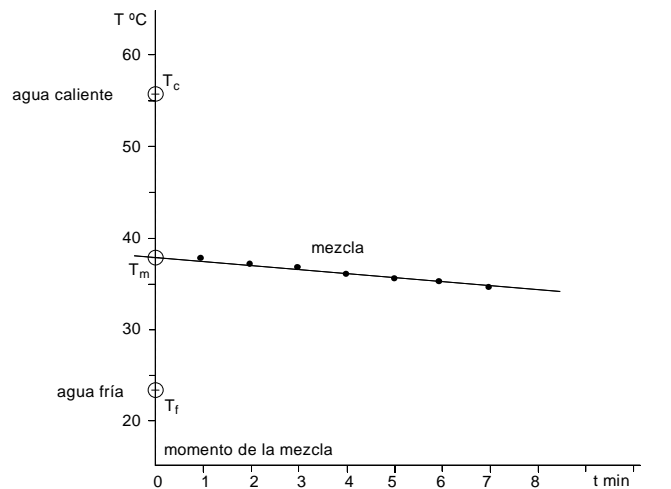
Datos necesarios:

- El valor experimental de  $\Delta H$  determinado para  $\text{NH}_3(ac) + \text{HCl}(ac) \rightarrow \text{NH}_4^+_{(ac)} + \text{Cl}^-_{(ac)}$  (c)
- El valor experimental de  $\Delta H$  determinado para  $\text{NH}_4\text{Cl(s)} \rightarrow \text{NH}_4^+_{(ac)} + \text{Cl}^-_{(ac)}$  (d)
- $\Delta H = -34640 \text{ J/mol}$  para  $\text{NH}_3(g) \rightarrow \text{NH}_3(ac)$  [1]
- $\Delta H = -75140 \text{ J/mol}$  para  $\text{HCl}(g) \rightarrow \text{HCl}(ac)$  [1]

## 8. RESULTADOS

### 8.1. Cálculo del equivalente calorífico en agua del calorímetro.

Representar gráficamente las temperaturas obtenidas frente al tiempo y extrapolar a tiempo cero para obtener la temperatura  $T_m$ .



- Suponiendo que la densidad del agua es de un gramo por mililitro y su calor específico  $c_e=1$  cal/g·K, se calcula el calor cedido por el agua caliente:[1]

$$q_{\text{cedido}} = m_{\text{caliente}} c_e (T_2 - T_m) \quad (1)$$

De igual forma, se calcula el calor ganado por el agua fría:

$$q_{\text{ganado}} = m_{\text{frío}} c_e (T_m - T_1) \quad (2)$$

- La diferencia entre estas dos cantidades corresponde al calor ganado por el calorímetro:

$$Q_{\text{calorímetro}} = q_{\text{cedido}} (\text{agua}) - q_{\text{ganado}} (\text{agua}) \quad (3)$$

- Por último, el cociente entre ese valor y la variación de temperatura es el equivalente calorífico en agua del calorímetro:

$$eq_c = q_{\text{calorímetro}} / (T_m - T_1) \quad (4)$$

## 8.2. Determinación de entalpías de neutralización.

a) Reacción de neutralización de un ácido fuerte por una base fuerte:

- Suponiendo que la densidad de la mezcla de reacción es aproximadamente  $1 \text{ g/cm}^3$  y que su calor específico se aproxima a  $1 \text{ cal/g}\cdot\text{K}$ , calcular el calor absorbido o desprendido por la mezcla.
- Añadir a esta cantidad el calor absorbido por el calorímetro, que se obtendrá a partir de su equivalente en agua medido.
- Calcular a partir de estos datos la entalpía de neutralización (en  $\text{KJ/mol}$ ) por mol de sal producido.[1]

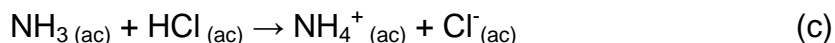
b) Reacción de neutralización de un ácido débil por una base fuerte:

Calcular la entalpía de neutralización de manera similar al punto anterior.

## 8.3. Determinación de entalpías de reacción y aplicación de la ley de Hess.

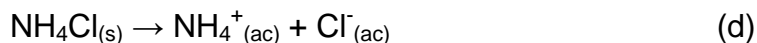
a) Determinación de la entalpía de la reacción de ácido clorhídrico con amoníaco:

- Representar gráficamente la relación temperatura/tiempo obtenida.
- Calcular, por extrapolación, la temperatura  $T_m$ .
- Calcular el valor de  $\Delta H$  para:



b) Determinación de la entalpía de disolución del cloruro de amonio:

- Representar gráficamente la relación temperatura/tiempo obtenida.
- Calcular, por extrapolación, la temperatura  $T_m$ .
- Calcular el valor de  $\Delta H$  para:

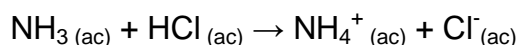


c) Aplicar la ley de Hess para calcular  $\Delta H$  para la reacción de descomposición del cloruro de amonio:



- Datos necesarios:

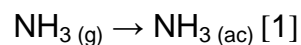
→El valor experimental de  $\Delta H$  determinado para:



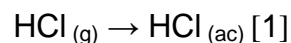
→El valor experimental de  $\Delta H$  determinado para:



→ $\Delta H = -34640$  J/mol para




→ $\Delta H = -75140$  J/mol para



## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Universidad de Valladolid: Termoquímica. [En Línea]. (Consultado el 5 sep. 09). Disponible en <<http://www.eis.uva.es/organica/practicas/practica1.doc>>
- [2] UNED: Termoquímica: Ley de Hess. [En Línea]. Consultado el 3 sep. 2009) disponible en < <http://bergidumflavium.iespana.es/UNED/QUIMICA-UNED-PONFERRADA/INDUSTRIALES/PRINCIPIOSQUIMICA/APUNTES/TERMOQUIMICA/termoquimica-teoria.PDF> >
- [3] BELLO THOMANN, Carmen; talleres experimentales: ley de Hess [en línea] consultado [4 julio 2009]. Disponible en <http://cprcalat.educa.aragon.es/exhess.html>
- [4] MARON, S; PRUTTON, C.F. Fundamentos de Físicoquímica. Editorial Limusa. 1973.

|   |  |                |                      |       |
|---|--|----------------|----------------------|-------|
|  | <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b><br><b>LABORATORIO DE ESTEQUIOMETRÍA</b> |                | FECHA                | GRUPO |
|   | <b>MANUAL DE PROCEDIMIENTOS</b>  |                | <b>PRÁCTICA N° 4</b> |       |
| <b>ELABORÓ:</b>   |  | <b>REVISÓ:</b> |                      |       |
| <b>TITULO: DESTILACIÓN DE UNA MEZCLA BINARIA (ETANOL-AGUA) A REFLUJO</b>          |  |                |                      |       |

## 1. OBJETIVO GENERAL

- ◆ Obtener etanol con un alto grado de pureza mediante un proceso de destilación simple y manejar los conceptos de balance de masa para determinar las corrientes y composiciones desconocidas del proceso realizado.

## 2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ◆ Comprender y analizar los principios básicos de la destilación utilizando los balances pertinentes
- ◆ Obtener un alcohol a un grado de pureza un poco superior al 90% por medio de una torre empacada.
- ◆ Determinar la composición final del destilado, y la concentración de los productos de fondo.
- ◆ Comprender el empleo del reflujo como técnica para realizar la separación en caliente a la temperatura de ebullición del etanol.

### 3. MOTIVACIÓN

*Figura 1. Torre de Destilación Empacada*



### 4. PREGUNTAS GUÍAS

1. ¿Cuál es la temperatura de evaporación del etanol es importante conocerla en esta operación por qué?
2. ¿Describa todo el proceso por el que pasa la mezcla etanol agua en la torre empacada hasta obtener el destilado final?
3. ¿Cuáles son los parámetros relevantes a controlar en un proceso de destilación?
4. ¿Qué significa trabajar a reflujo de total?
5. ¿Por qué el destilado final se empieza a recoger hasta el momento en que la cantidad de condensado este en la marca señalada en el condensador?
6. ¿Cuál es la importancia de los rotámetros en el momento de operar la torre?
7. ¿Cómo se podría calcular la densidad de una mezcla?

8. ¿Qué balances másicos se pueden plantear en un sistema de tres corrientes con una mezcla binaria?

## **5. FUNDAMENTO TEÓRICO**

### **5.1. Destilación**

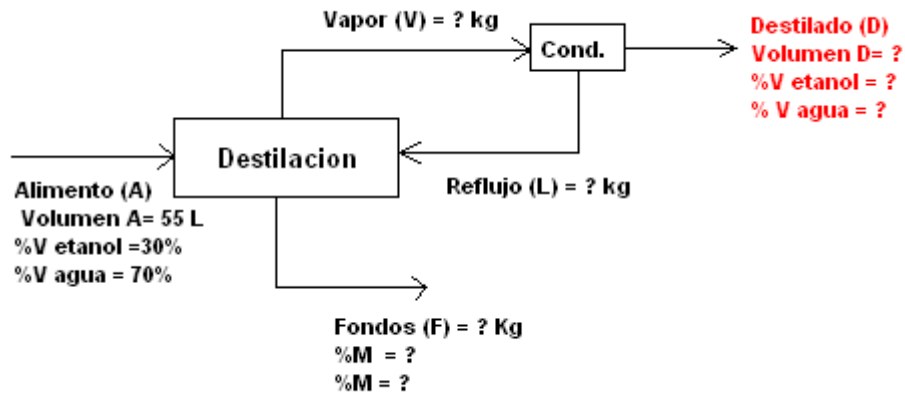
La destilación es una operación unitaria que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase vapor, y a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación. La finalidad principal de la destilación es obtener el componente más volátil en forma pura.

Si se calienta una mezcla líquida de dos materiales volátiles, el vapor que se separa tendrá una mayor fracción molar del material de menor punto de ebullición; y así mismo el líquido tendrá una fracción molar mayor del material de mayor punto de ebullición. Considerando a la inversa, si se enfría un vapor caliente, el material de mayor punto de ebullición tiende a condensarse en mayor proporción que el material de menor punto de ebullición.[1]

### **5.2. Reciclo**

Consiste en retirar parte de los productos de un proceso y regresarlo para combinarse con alimento fresco y someterlo nuevamente a la operación que se realice, este proceso se aplica en la industria para mejorar la corriente producto, tal como sucede en una torre de destilación. [1]

*Figura 2. Diagrama del proceso de Destilación*



Las corrientes V, R y D tienen las mismas composiciones.

### 5.3. Balances de Masa

|                               |   |     |
|-------------------------------|---|-----|
| Balance de Masa Global:       | $A = P + F$   | (a) |
| Balance de masa Componente    | X: $A \cdot X_{iA} = P \cdot X_{iP} + F \cdot X_{iF}$ | (b) |
| Balance de masa Componente X: | $A \cdot Y_{iA} = P \cdot Y_{iP} + F \cdot Y_{iF}$    | (c) |
| Balance en la División:       | $E = P + R$   | (d) |
| Relación de Reflujo:          | R/E   | (e) |

### 5.4. Densidad de una Mezcla Binaria Líquida

La densidad de una mezcla binaria líquida puede aproximarse suponiendo que los volúmenes específicos ponderados son aditivos, con la siguiente fórmula:[2]

$$\rho_{\text{mezcla}} = \frac{\rho_x \cdot V_x + \rho_y \cdot V_y}{V_x + V_y}$$

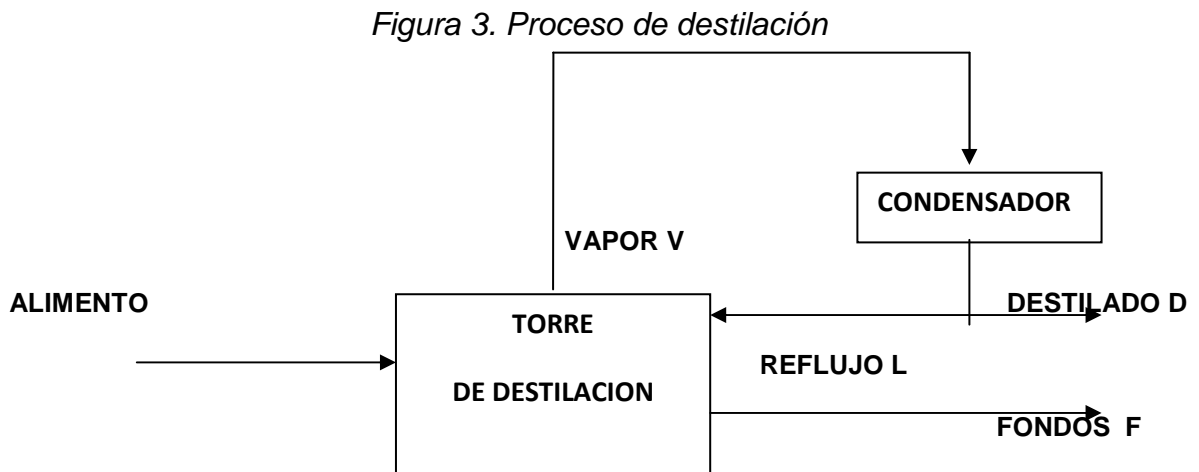
## 6. EQUIPOS Y MATERIALES

- ◆ Torre de destilación
- ◆ Mezcla Etanol-agua
- ◆ Rotámetros
- ◆ Densímetro
- ◆ Baldes
- ◆ Termómetro

- ◆ Probeta 250ml

## 7. PROCEDIMIENTO

Una mezcla de etanol-agua se alimenta a una torre de destilación. El vapor V que sale de la parte superior de la torre pasa a través de un condensador para obtener un producto destilado D, del cual se recircula una parte (Reflujo L) a la torre de destilación, si la relación de reflujo (L/D) es (4/1); Calcular la cantidad de liquido recirculado (L), la composición y la cantidad del producto F. [1]



- Utilizando como alimento a la torre de destilación 55litros de una mezcla de etanol-agua de 30% en volumen, llenar el tanque  $T_1$  con esta.
- Hasta que se alcance una temperatura de  $78^{\circ}\text{C}$  (punto de ebullición del etanol) y las condiciones de estado estable en cada parte del equipo, trabajar a reflujo total, para esto mantener cerrada la válvula  $V_5$ .
- Abrir la válvula  $V_1$ , llevar la mezcla al tanque  $T_2$  mediante bombeo para su almacenamiento.
- Al abrir  $V_1$ , poner en funcionamiento el condensador, abriendo la válvula  $V_4$  (agua a la entrada de agua de enfriamiento en el condensador).

- Medir el caudal de agua y su temperatura  $T_4$  correspondiente a la entrada de agua al condensador.
- Abrir la válvula  $V_2$  la cual distribuye la mezcla al rehervidor.
- Abrir la válvula  $V_3$  para la inyección de vapor al rehervidor asegurando que la presión de vapor no sea superior a 2psig.
- Ajustar el reflujo 1:4, a partir de las posiciones de los rotámetros que se encuentran tabulados.
- Abrir la válvula  $V_6$  y recoger volúmenes fijos de condensado de vapor, medir tiempos de recolección y temperatura  $T_6$  de este condensado, así como el tiempo de duración de la practica desde el momento en que la válvula  $V_6$  este abierta.
- Recoger volúmenes fijos de destilado de la válvula  $V_7$ , midiendo con la temperatura de salida y la densidad final, para determinar en las tablas la composición de alcohol en el destilado final.


## 8. RESULTADOS

- Determinar experimentalmente la composición final del destilado recogido, así como la cantidad de destilado final.
- Calcular a partir de los balances de masa correspondientes, la composición y la masa de fondo.
- Determinar la masa de sustancia recirculada y la cantidad de masa que sale de la torre y entra al condensador.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

[1] SABOGAL Cesar; ÁLVAREZ Mario: Estequiometria, primera impresión. Bucaramanga. 1985.

[2] HIMMELBLAU, David M. "Principios y cálculos básicos de la Ingeniería Química". Secta edición. Prentice Hall, México 1987.

|   |  |                |                      |       |
|---|--|----------------|----------------------|-------|
|  | <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b><br><b>LABORATORIO DE ESTEQUIOMETRÍA</b> |                | FECHA                | GRUPO |
|   | <b>MANUAL DE PROCEDIMIENTOS</b>  |                | <b>PRÁCTICA Nº 5</b> |       |
| <b>ELABORÓ:</b>   |  | <b>REVISÓ:</b> |                      |       |
| <b>TÍTULO: PROCESO DE COMBUSTIÓN</b>  |  |                |                      |       |

### 1. OBJETIVO GENERAL

- ◆ Realizar un Análisis próximo a una muestra de carbón como combustible sólido y así comprender los distintos conceptos que este tipo de análisis presenta.

### 2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ◆ Reconocer que componentes son necesarios para que ocurra una combustión.
- ◆ Hacer análisis de combustibles sólidos para obtener criterios y normalizar.
- ◆ Establecer cuáles son los productos de una reacción de combustión determinada.
- ◆ Determinar % carbón fijo, cenizas, volátiles y humedad

### 3. MOTIVACIÓN

*Figura 1. Esquema componentes de la combustión. [1]*

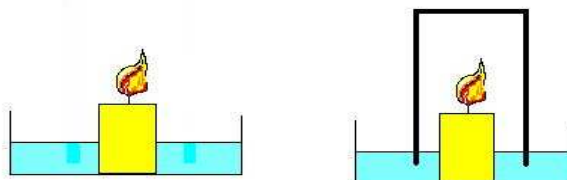


Figura 2. Cenizas. [2]



#### 4. PREGUNTAS GUÍA

1. ¿Cuáles componentes son los necesarios para la combustión?
2. ¿Qué tipo de combustiones conoce y cuáles son los productos de cada una?
3. Las reacciones de combustión son:
  - a) Isotérmicas
  - b) exotérmicas
  - c) endotérmicas
4. Al quemarse el carbón queda un residuo de color pardo que es:
  - a) Azufre
  - b) ceniza
  - c) un hidrocarburo
5. ¿Qué propiedades son importantes para escoger un combustible?
6. ¿Por qué creen que es importante caracterizar un combustible sólido?
7. ¿En qué consiste el análisis próximo que se le realiza a un combustible?
8. ¿Por qué cree que es importantes secar los crisoles antes de empezar las pruebas?
9. ¿Mencione las temperaturas a las cuales se realiza cada caracterización y explique qué tipos de sustancias son las que se elimina con cada caracterización?

10. ¿Económicamente hablando cree usted que es viable utilizar aire en exceso?

11. ¿Qué efecto ambiental conoce que producen las combustiones?

## **5. FUNDAMENTO TEÓRICO**

La combustión es una reacción de bastante aprecio en la industria, finalmente es ella la encargada de producir la energía necesaria para determinado fin, es así como se pueden ver enormes aplicaciones tanto antiguas como eran las maquinas de vapor o nuevas, el movimiento de un avión. Combustibles existen una gran cantidad y poder hacerle un análisis contribuye a identificar como serian los resultados de mi reacción de combustión, resaltando esto la importancia de recurrir a la caracterización de un combustible en el momento de selección de este.

### **5.1. Combustión**

La combustión es una reacción química en la que un elemento (combustible) se combina con otro (comburente, generalmente oxígeno en forma de  $O_2$  gaseoso), desprendiendo calor y produciendo un óxido; la combustión es una reacción exotérmica.[3]

Los tipos más frecuentes de combustible son los materiales orgánicos que contienen carbono e hidrógeno. El producto de esas reacciones puede incluir monóxido de carbono ( $CO$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), agua ( $H_2O$ ) y cenizas.

El proceso de destruir materiales por combustión se conoce como incineración.

Para iniciar la combustión de cualquier combustible, es necesario alcanzar una temperatura mínima, llamada temperatura de ignición o de inflamación.

Existen varios tipos de combustión, entre los cuales están la combustión incompleta y la completa:

- La combustión incompleta, una combustión se considera una combustión incompleta cuando parte del combustible no reacciona completamente porque el oxígeno no es suficiente. Se reconoce por una llama amarillenta.
- La combustión completa es cuando todo el carbono de la materia orgánica quemada se transforma en CO<sub>2</sub>. Se puede reconocer por la llama azul producida por la incineración del material.[4]

## 5.2. Análisis Próximos

El análisis próximo de carbón según norma **ASTM D3172** se define como la determinación de humedad, cenizas, materia volátil y carbono fijo. En nuestro medio y con fines comerciales e industriales se incluye la determinación del poder calorífico y el azufre esto equivale a los análisis próximos completos.[5]

- **Humedad residual:** Es la humedad que pierde un carbón seco al aire cuando se le somete a una temperatura de 106°C (ASTM D3173). La presencia de una humedad muy alta retrasa el encendido del carbón dando lugar a que no exista el suficiente tiempo, para su consumo total siendo evacuado parte de él en las cenizas.[5][6].bajo contenido de humedad favorece la molienda y dificulta aglomeraciones, La humedad actúa como un inerte bajando la temperatura de la llama.[7]
- **Cenizas:** Las cenizas de un carbón son un producto de la combustión, es decir un residuo de la calcinación a 750°C (ASTM D3174) de minerales y sales existentes en el carbón. Las cenizas diluyen la fracción combustible del carbón; forman depósitos en las paredes de los hornos y normalmente cuando están en gran cantidad se deben extraer del carbón, por estas razones se deben conocer para: seleccionar los equipos de trituración, pulverización, combustión y determinar los procesos de lavado y limpieza. Bajos contenidos de cenizas favorecen los costos de operación y la más alta disponibilidad de los equipos. El comportamiento de las cenizas

depende de la composición. Cuando tienen alto contenido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O} > 2$ ) promueve la formación de costras y con alto contenido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) propicia la formación de escorias.[5][6]. El efecto de las cenizas también se nota en el poder calorífico del sólido siendo bajo para el de alto contenido de cenizas.[7]

- **Materias Volátiles:** Las materias volátiles son desprendimientos gaseosos de la materia orgánica durante el calentamiento exigido por la norma (ASTM 3175). A medida que el carbón se calienta, se desprenden productos gaseosos y líquidos. Los constituyentes son principalmente agua, hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, sulfuros de hidrógeno, metano, amoníaco, benceno, tolueno, naftaleno y vapores alquitranes. Como regla general se puede afirmar que carbones con alto contenido de volátiles combustión más fácilmente y con llama larga (existen algunas excepciones) y si el porcentaje de materia volátil es bajo, generalmente se necesita precalentamiento más alto del carbón lo que equivale a un diseño particular de la caldera y además se requiere pulverizar a menor tamaño el carbón.[5][6]
- **Carbono Fijo:** El carbono fijo es la parte que no es volátil y que quema en estado sólido. Se encuentra en el residuo de coque que queda en el crisol luego de determinadas las materias volátiles. Si a este residuo se le restan las cenizas se obtiene el carbono fijo, por lo que generalmente el porcentaje de carbono fijo no se obtiene pesando el residuo, sino por diferencia una vez conocidas la humedad, las cenizas y las materias volátiles. Es importante para calcular la eficiencia en equipos de combustión, en los procesos de carbonización y combustión de carbones; además junto con la ceniza representa aproximadamente la cantidad de coque a obtener de un carbón coquizable.[5][6]

## **6. EQUIPOS Y MATERIALES**

- ◆ Carbón mineral
- ◆ Balanza analítica
- ◆ Vidrio de reloj
- ◆ Crisol
- ◆ Pinza para crisol
- ◆ Mufla
- ◆ Espátula

## **7. PROCEDIMIENTO**

### **7.1. Secado de los crisoles**

- Tomar los crisoles a utilizar e introducirlos a la estufa y ajustar la temperatura de esta a 110°C y dejarlos durante media hora.
- Pesar el/los crisoles y este es el verdadero peso del crisol vacío.

### **7.2. Determinación del % Humedad**

- A partir del peso del crisol seco, adicionar 1g del combustible sólido a utilizar.
- Ingresar esta muestra a la estufa y ajustar la temperatura a 107°C y dejarlos durante 1 hora.
- Pesar la muestra seca para calcular la cantidad de peso perdido.

### **7.3. Determinación del % Cenizas**

- A partir del peso del crisol seco, adicionar 1g del combustible sólido a utilizar.
- Encender la mufla e ingresar la muestra.
- Ajustar el set point inicialmente a 700°C, y a medida que se alcance esta temperatura aumentar gradualmente hasta alcanzar los 750°C.

- Dejar la muestra durante 2 horas a 750°C y en ese momento apagar la mufla.
- Dejar reposar la muestra aproximadamente medio día, luego pesar esta muestra y determinar el % de cenizas.

#### **7.4. Determinación de la materia volátil**

- A partir del peso del crisol seco, adicionar 1g del combustible sólido a utilizar.
- Encender la mufla e ingresar la muestra.
- Ajustar el set point inicialmente a 900°C, y a medida que se alcance esta temperatura aumentar gradualmente hasta alcanzar los 950°C.
- Dejar la muestra durante 7 minutos a 750°C y en ese momento apagar la mufla.
- Asesorarse con el auxiliar del laboratorio para protegerse con todos los implementos de seguridad requeridos antes de proceder a retirar la muestra, mantenerse lo más lejos posible de la mufla al momento de retirar la muestra.
- Dejar enfriar la muestra aproximadamente medio día, y luego pesar esta muestra y determinar la cantidad de materia volátil presente.


### **8. RESULTADOS**

- Determinar el % de humedad presente en la muestra.
- Determinar el % de cenizas presente en la muestra
- Determinar la cantidad de materia volátil presente en la muestra
- Determinar la cantidad de carbón fijo presente en la muestra.
- Según los anteriores resultados que se puede decir acerca del combustible sólido.

### **9. BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Gómez M: Actividades Prácticas: Reacción de Combustión. Julio del 2001. [En Línea]. (Consultado el 3 sep. Del 2009). Disponible en < <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Practica/PR-13/PR-13.htm> >
- [2] Tonorama: Imagen de Cenizas. [En Línea]. (Consultado el 4 sep. Del 2009). Disponible en < <http://www.tonorama.com/?p=5651> >
- [3] SILDE, Char Inc. Reacciones Químicas IV.[En Línea]. (Consultado el 2 sep. Del 2009). Disponible en< <http://www.slideshare.net/reaccionquimica/reacciones-quimicas-parte-iv> >
- [4] Wikipedia: Combustión. [En Línea]. (Consultado el 3 sep. Del 2009). Disponible en < <http://es.wikipedia.org/wiki/Combusti%C3%B3n> >
- [5] MARTINI, María: Combustibles Sólidos y su Combustión. [En línea]. [Consultado el 8 de septiembre 2009]. Disponible< [www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/energia1/teorico/Teo\\_solidos.pdf](http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/energia1/teorico/Teo_solidos.pdf) >. Julio 2004
- [6] SABOGAL; Cesar; ALVAREZ, Mario: Estequiometría, 1<sup>o</sup> ed, Bucaramanga. Marzo de 1985.
- [7] CORTÉS, Vicente: Carbón. [En Línea]. (Consultado el 4 sep. Del 2009). Disponible en < [http://www.ciuden.es/DOCUMENTOS\\_B/CAPTURA/11AA%20CARBON%20.PDF](http://www.ciuden.es/DOCUMENTOS_B/CAPTURA/11AA%20CARBON%20.PDF) >

**ANEXO D**  
**MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO FENOMENOS DE**  
**TRANSPORTE I**

|   |  |                      |              |
|---|--|----------------------|--------------|
|          | <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b><br><b>LABORATORIO DE FENÓMENOS</b><br><b>TRANSPORTE I</b> | <b>FECHA</b>         | <b>GRUPO</b> |
| <b>MANUAL DE PROCEDIMIENTOS</b>   |  | <b>PRÁCTICA Nº 1</b> |              |
| <b>ELABORÓ:</b>   |  | <b>REVISÓ:</b>       |              |
| <b>TITULO: EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA VISCOSIDAD EN UN VISCOSÍMETRO DE OSTWALD</b> |  |                      |              |

**1. OBJETIVO GENERAL**

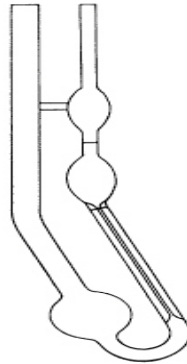
- ◆ Determinar la viscosidad de un líquido problema, y el efecto de la temperatura en la viscosidad.

**2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ◆ Comprender los principios del funcionamiento de un viscosímetro de Ostwald.
- ◆ Calibrar de una manera adecuada el viscosímetro escogiendo la mejor sustancia para realizar esta calibración.
- ◆ Determinar la viscosidad de un líquido newtoniano.
- ◆ Determinar la variación de la viscosidad respecto a la temperatura.

### 3. MOTIVACIÓN

Figura 1. Viscosímetro de Ostwald. [1]



### 4. PREGUNTAS GUÍA

1. ¿Que representa la imagen anterior y como se utiliza?
2. ¿Qué tipos de fluidos creen que se puedan utilizar en este dispositivo?
3. ¿Qué ley modela el flujo del viscosímetro?
4. ¿Qué formula rige el viscosímetro y como es deducida?
5. ¿Qué es la k de la formula que rige el viscosímetro cuáles son sus unidades y como se puede obtener?
6. ¿Esta k es propia de cada viscosímetro de Ostwald o es utilizable en todos los viscosímetros de Ostwald, por qué?
7. ¿el Valor de k es función de la temperatura como se ve afectada?
8. ¿Qué propiedad hay que tener del liquido problema y en que unidades para determinar su viscosidad en centipoise?
9. ¿En qué se diferencian la gran cantidad de viscosímetros de Ostwald que existen?

10. ¿Si desea medir una viscosidad de un líquido demasiado viscoso en que se fijaría para escoger el viscosímetro Ostwald apropiado?
11. ¿Cómo cree que va a variar la viscosidad del líquido a medida que aumentamos la temperatura de este?
12. ¿Por qué cree que la constante k hallada con el agua sirve para el alcohol?

## 5. FUNDAMENTO TEÓRICO

Determinar como se ve afectada la viscosidad con la temperatura es de gran ayuda en diversos campos laborales como por mencionar, en el trabajo diario un ingeniero químico se ve enfrentado a trasportar fluidos de unos sitios a otros durante este trayecto se recorren diversas geografías y temperaturas de las diversas ciudades, como lo hace Ecopetrol al trasportar por sus oleoductos o gasoductos en la cuales ellos necesitan saber cómo se comportara su fluido en el momento en que transporte por una sitio de condiciones extremadamente frías donde puede que el fluido se oponga demasiado al movimiento e interrumpir el trabajo normal de dicha empresa.

Un viscosímetro es un instrumento empleado para medir la viscosidad y algunos otros parámetros de flujo de un fluido. [2] Fue Isaac Newton el primero en sugerir una fórmula para medir la viscosidad de los fluidos, postuló que dicha fuerza correspondía al producto del área superficial del líquido por el gradiente de velocidad, por un coeficiente de viscosidad. En 1884 Poiseuille mejoró la técnica estudiando el movimiento de líquidos en tuberías.[3]

El viscosímetro Ostwald es un instrumento en el cual la sustancia problema está sometida bajo la acción de la gravedad, el cual el comportamiento del liquido en este viscosímetro se modela con la siguiente formula

$$\mu = k \rho t \quad (1)$$

Donde K es una constante del viscosímetro,  $\rho$  es la densidad del fluido y t el tiempo que gasta en desocupar determinada cantidad de fluido el viscosímetro por la acción de la gravedad. La formula de viscosidad del viscosímetro de Ostwald anotada anteriormente se obtiene a partir de las siguientes suposiciones:

- Flujo laminar
- Densidad constante o flujo incompresible
- Flujo es independiente del tiempo estado estacionario
- Fluido es newtoniano.
- Efectos finales despreciables
- No hay deslizamiento en la pared.

Con lo cual se hace el siguiente análisis:

Balance cantidad materia de un flujo laminar en un capilar.

Considerando el flujo laminar en estado estacionario de un fluido de densidad constante en un tubo de longitud l y radio r.[4]

Del balance obtenemos la ecuación (2):

$$(2\pi r L \tau_{rz})_r - (2\pi r L \tau_{rz})_{r+\Delta r} + (2\pi r \Delta r \rho v_z^2)_{z=0} - (2\pi r \Delta r \rho v_z^2)_{z=L} + (2\pi r \Delta r L \rho g) + 2\pi r \Delta r (P_0 - P_l) = 0$$

Suponiendo que el fluido es incompresible  $v_z$  es la misma a  $z=0$  y  $z=l$  anulándose de la ecuación anterior dos términos, dividiendo este resultado por  $2\pi r \Delta r$  y hallando el límite cuando  $\Delta r \rightarrow 0$  tenemos la ecuación:

$$\lim_{\Delta r \rightarrow 0} \left( \frac{(r \tau_{rz})_{r+\Delta r} - (r \tau_{rz})_r}{\Delta r} \right) = \left( \left( \frac{P_0 - P_l}{L} \right) + \rho g \right) r \quad (3)$$

De lo cual obtenemos:

$$\frac{d(r\tau_{rz})}{dr} = \frac{Po - Pl}{L} r \quad (4)$$

Integrando y tomando la constante de integración como cero si la densidad de flujo de cantidad de movimiento no es infinita para  $r = 0$ .

$$\tau_{rz} = \frac{Po - Pl}{2L} r \quad (5)$$

Sustituyendo la ecuación de newton tenemos:

$$\frac{d(v_z)}{dr} = - \frac{Po - Pl}{2\mu L} r \quad (6)$$

Integrando se obtiene:

$$v_z = - \frac{Po - Pl}{4\mu L} r^2 + C \quad (7)$$

Donde para la condición de  $r=R$   $v_z$  es igual a cero se obtiene un valor para la constante  $c$ :

$$C = \frac{Po - Pl}{4\mu l} R^2 \quad (8)$$

$$v_z = \left[ \frac{Po - Pl}{4\mu l} R^2 \right] \left[ 1 - \frac{r^2}{R^2} \right] \quad (9)$$

A partir de la anterior ecuación obtenemos la velocidad media:

$$\frac{\int_0^{2\pi} \int_0^R v_z \cdot r \cdot dr \cdot d\theta}{\int_0^{2\pi} \int_0^R r \cdot dr \cdot d\theta} = \frac{Po - Pl}{8\mu l} R^2 \quad (10)$$

Y al multiplicar la ecuación anterior por el área del capilar obtenemos la conocida ley de Hagen Poiseuille:[4]

$$Q = \frac{\pi(P_o - P_l)R^4}{8\mu l} \quad (11)$$

Donde  $Q = dv/dt$

Y  $P_o - P_l$  es proporcional a la densidad

$$P_o - P_l = K_1 \rho \quad (12)$$

Reemplazando tenemos:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\pi K_1 \rho R^4}{8\mu l} \quad (13)$$

Integrando desde un tiempo  $t=0$  hasta el tiempo en que se desocupa el volumen fijo de líquido (el comprendido entre los meniscos) el cual será el mismo para cualquier sustancia si se utiliza el mismo viscosímetro:

$$v_f - v_i = \frac{\pi K_1 \rho R^4}{8\mu l} * (t_f - 0) \quad (14)$$

$$v_f - v_i = v \quad (15)$$

$$t_f - 0 = t \quad (16)$$

Despejando viscosidad tenemos:

$$\mu = \frac{\pi K_1 \rho R^4}{8vl} * t \quad (17)$$

Reagrupando.

$k = \pi K_1 R^4 / 8vl$  obtenemos la ecuación del viscosímetro de Ostwald:

$$\mu = K * \rho * t \quad (1)$$

Determinar la viscosidad con ayuda del viscosímetro de Ostwald se realiza tomando el tiempo en que dura en desocupar determinado volumen de líquido que existe entre los meniscos y con este tiempo en segundos y la densidad en g/ml reemplazarlos en la ecuación de Ostwald, para cada temperatura.

Inicialmente se hace una calibración de la k del viscosímetro Ostwald o se busca la reportada según el código del viscosímetro. Se recomienda la calibración con agua debido a que se cuenta con datos reportados de densidad y viscosidad a cada temperatura para así hallar el valor de la k a diversas temperaturas y poder reemplazar estos valores a la hora de calcular la viscosidad de la sustancia problema.

Es importante que para las mediciones de las k a diversas temperaturas y para las viscosidades a diversas temperaturas se realice con ayuda de un baño que mantenga la temperatura del fluido a estudiar en la deseada lo cual se realiza con una bomba haake a la cual se le ingresa un set point y esta envía una señal al baño para obtener determinada temperatura y apoyándose en la ley cero de la termodinámica poder deducir que la temperatura de la sustancia en el viscosímetro es igual a la del baño.

## **6. EQUIPOS Y MATERIALES**

- ◆ Bomba haake
- ◆ Viscosímetro Ostwald (No 50 w685)
- ◆ Recipiente (2-3 litros y boca ancha)
- ◆ Termómetro
- ◆ 3 soportes con pinzas
- ◆ Pipeta de 10 ml
- ◆ 2 vasos de 250 ml
- ◆ Pera
- ◆ frasco lavador
- ◆ Cronometro

- ◆ Agua
- ◆ Alcohol

## 7. PROCEDIMIENTO

### 7.1. Calibración del viscosímetro:

1. Realizar el montaje del baño termostático (se llena el recipiente de alta capacidad con agua un poco mas de sus tres cuartas partes de su altura, para después ingresar el serpentín de la bomba haake y el termómetro en este).
2. Sumergir el viscosímetro en el recipiente sujetándolo con una pinza y teniendo en cuenta que el menisco superior del bulbo principal quede visible y sumergido.
3. Medir la temperatura inicial del baño con ayuda del termómetro sumergido (temperatura partida 35 °C).
4. Se mide 10 ml de agua, luego se ingresan en el viscosímetro.
5. Con ayuda de la pera succionar el agua hasta que el nivel de esta se encuentre por encima del menisco superior.
6. Retirar la pera y esperar a que el nivel del agua baje hasta el menisco superior para empezar a cronometrar, hasta el momento que alcance el menisco inferior.
7. Conocida la viscosidad del agua y su densidad determinar la constante (k) del viscosímetro a la temperatura de partida.
8. Cambiar el set point aumentándolo 5 unidades, esperar unos segundos para leer nueva temperatura (40 °C). Se Espera 5 minutos más para que se

establezca el equilibrio de temperaturas para después realizar de nuevo los puntos 5,6 y 7

9. Aumentar el set Point de 5 unidades en 5 hasta obtener una temperatura del baño de 50 °C y hacer los pasos respectivos para calcular los valores de K a esas temperaturas, o extrapolar con los valores obtenidos de 35 y 40 °C.

## **7.2. Determinación viscosidad de un fluido problema:**

1. Una vez hecho el montaje del baño termostatado con el viscosímetro en su interior limpio y seco, se prosigue a obtener 35 °C en el baño.
2. Con ayuda de la pipeta se mide 10 ml de fluido problema (etanol).
3. Ingresar esta cantidad de alcohol en el viscosímetro y succionar con la pera hasta que el nivel del líquido se encuentre por encima del menisco superior.
4. Retirar la pera y esperar a que se alcance el nivel del menisco superior para empezar a cronometrar hasta que se alcance el menisco inferior.
5. Con este tiempo, la densidad del alcohol y el valor determinado en la calibración de la constante (K) para esta temperatura determinar la viscosidad de este fluido.
6. Cambiar el set point aumentando 5 unidades y esperamos unos segundos para leer la nueva temperatura (40°C). Esperar unos minutos para que se equilibren las temperaturas, y se prosigue a repetir los pasos desde la succión con la pera hasta el cálculo de la viscosidad con la K (40 °C).
7. Repetir el paso 6 para temperaturas de 45 y 50 °C y hacer sus respectivos cálculos.

## **7.3. Recomendaciones:**

Hacer varias mediciones para cada temperatura para hacer un análisis estadístico, si se hace la medición con algún líquido de densidad desconocida utilizar el

picnómetro para calcular y conocer su densidad, verter los residuos generados o almacenarlos y etiquetarlos

## 8. RESULTADOS

### 8.1. CALIBRACION DEL VISCOSIMETRO:

| medida | Temperatura (°C) | Tiempo (s) | K |
|--------|------------------|------------|---|
| 1      | 35               |            |   |
| 2      | 40               |            |   |
| 3      | 45               |            |   |
| 4      | 50               |            |   |

→ ¿Compara los valores de la k con los expuestos en el certificado de calibración del viscosímetro 50 w685?

→Hacer grafica de k vs temperatura y determinar la ecuación que rige esta grafica. Analice.

### 8.2. DETERMINACION VISCOSIDAD ALCOHOL:

| medida | Temperatura | Tiempo (s) | k | $\mu(\text{cp})$ |
|--------|-------------|------------|---|------------------|
| 1      | 35          |            |   |                  |
| 2      | 40          |            |   |                  |
| 3      | 45          |            |   |                  |
| 4      | 50          |            |   |                  |


→ ¿Comparar la viscosidad hallada con la suministrada teóricamente a que se debe la diferencia?

→Hacer grafica de viscosidad vs tiempo, determinar alguna expresión para el cálculo de esta viscosidad a diferentes temperaturas. Analice.

→Comparar las viscosidades calculadas a partir de otras formulas teóricas con las halladas. Analice.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Biblioteca Virtual de la Universidad de Chile: Imagen Viscosímetro Ostwald.[En Línea]. (Consultado el 5 Sep. Del 2009). Disponible en < [http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias\\_quimicas\\_y\\_farmaceuticas/ap-fisquim-farm12/c18.html](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/ap-fisquim-farm12/c18.html) >
- [2] MUNITA Exequiel: Proyecto Mecánica de Fluidos.2007. [En Línea]. (Consultado el 5 sep. 2009). Disponible en < <http://ich1102-2sem2007-g5.blogspot.com/2007/10/dispositivo.html> >
- [3] Wikipedia: Viscosímetro de Ostwald. [En Línea]. (Consultado el 6 Sep del 2009). Disponible en < <http://es.wikipedia.org/wiki/Viscos%C3%ADmetro> >
- [4] BIRD, Byron, STEWART, Warren, y IGTHFOOT, Edwin; Fenómenos de Transporte, España, Ed. Reverte 1992.

|   |  |                |                      |       |
|---|--|----------------|----------------------|-------|
|  | <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b><br><b>LABORATORIO DE FENÓMENOS</b><br><b>TRANSPORTE I</b> |                | FECHA                | GRUPO |
|   | <b>MANUAL DE PROCEDIMIENTOS</b>  |                | <b>PRÁCTICA Nº 2</b> |       |
| <b>ELABORÓ:</b>   |  | <b>REVISÓ:</b> |                      |       |
| <b>TÍTULO: CONDUCCIÓN Y PÉRDIDA DE CALOR A LO LARGO DE UNA BARRA METÁLICA</b>     |  |                |                      |       |

### 1. OBJETIVO GENERAL

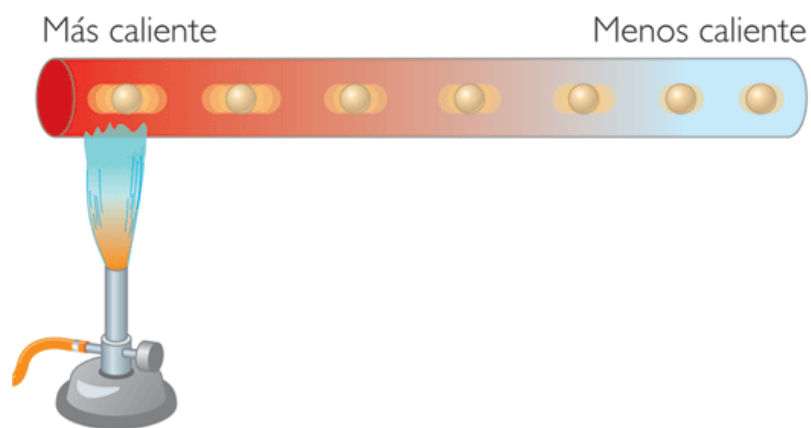
- ◆ Estudiar el transporte de energía en sistemas no isotérmicos.

### 2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ◆ Medir la distribución de la temperatura a través de una barra metálica
- ◆ Estudiar la conducción de calor de un extremo a otro de la barra
- ◆ Determinar la conductividad térmica de un metal.

### 3. MOTIVACIÓN

*Figura 1. Barra expuesta a una fuente de calor. [1]*



#### 4. PREGUNTAS GUÍA

1. ¿Usted que cree que está pasando en la anterior ilustración?
2. ¿Qué parte de la barra estará más caliente y por qué?
3. ¿A qué cree usted que se debe que se caliente el extremo que no está en contacto con la llama?
4. ¿En qué dirección piensa usted que se propaga el flujo de calor si el sistema se considera que no pierde calor por convección ni radiación?
5. ¿Qué fórmula consideraría aplicable si el mecanismo de transporte de calor se considera que solo es conducción?
6. ¿Cómo describiría a nivel atómico lo que sucede cuando se coloca la barra en la fuente de energía?
7. ¿Cuáles son los principios de las termocuplas?
8. ¿Cómo podemos obtener la potencia real entregada a la barra partir de las especificaciones de la plancha trabajándola a su máxima capacidad?
9. ¿Un valor alto de la conductividad térmica que me determina?
10. ¿Qué propone usted para que la conducción de calor sea más efectiva y que el extremo que no está en contacto con la llama se calentara más rápidamente?
11. ¿Las temperaturas a lo largo de la barra cambiarían si el procedimiento se hace con una barra de diferente conductividad?
12. ¿Las temperaturas a lo largo de la barra cambiarían si se hace con una barra del mismo material pero diferente sección transversal?

## 5. FUNDAMENTO TEÓRICO

La practica a continuación planteada se justifica su estudio, centrándonos en si gran aplicabilidad por conseguir materiales que estando en contacto con fuentes de energía no me conduzcan el calor o lo conduzcan demasiado, es así como en la industria de la cerámica se hace uso de piedras refractarias materiales que no conducen calor y mantienen el horno logrando obtener temperaturas deseadas para el respectivo proceso

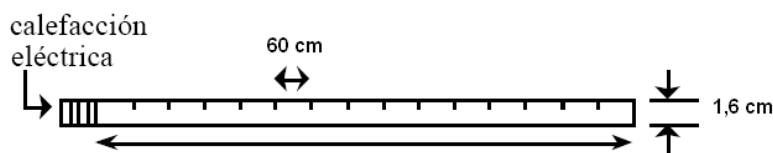
### 5.1. Conducción de calor a lo largo de una barra

De la experiencia cotidiana observamos que si se sujeta el extremó de una barra metálica, como por ejemplo una cuchara, y se coloca el otro en una llama, el extremó que se sostiene se calienta poco a poco, aunque no esté en contacto con la llama, el calor llega al extremó mas frio por conducción (mecanismo de trasferencia de energía térmica basado en el contacto directo de sus partículas flujo neto de materia y que tiende a igualar la temperatura dentro de un cuerpo y entre diferentes cuerpos en contacto por medio de ondas) a través del material. [2]

A nivel atómico, los átomos de las regiones más calientes tienen en promedio más energía cinética que sus vecinos más fríos, así que los empujan y les dan algo de su energía. Los vecinos empujan a sus vecinos continuando así a través del material.[2]

La siguiente figura muestra la barra metálica que aquí emplearemos, la cual tiene incorporada una calefacción eléctrica en uno de sus extremos. La energía en esta se propaga por conducción en el interior de la barra con un flujo  $Q$  que viene dado por la ley de Fourier.[3]

Figura 2. Barra metálica calentada por un extremo. [3]

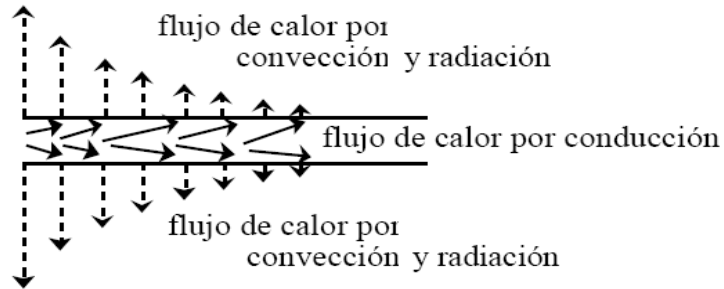


$$dQ/dt = -KA dT/dx \quad (1)$$

Donde  $dQ$  es el calor transferido en un tiempo  $dt$ ,  $k$  es la conductividad térmica del material área una barra de longitud  $L$  y área trasversal  $A$ . [4]

Para esto la barra tendría que estar aislada de forma de no transferir calor al medio circundante y tomando la coordenada  $x$  como la única coordenada en la cual se trasfiere el calor, el signo negativo significa siempre fluye en la dirección de temperatura decreciente. Resulta interesante ver lo que sucede en la barra:

*Figura 3. Flujos de Calor. [3]*



Debido a la diferencia de temperatura del ambiente y la barra siendo mayor la de la barra esta perderá calor por convección y radiación, lo cual podría obviarse si estuviera la superficie de la barra aislada pero para la siguiente experiencia debido a la complejidad de su aislamiento no se pudo aislar, aun así se tomara como despreciable la convección y la radiación tomando que el calor solo se propaga por conducción modelándose por la ley de Fourier de forma unidimensional.

## 5.2. Termocuplas

Este tipo de sensor se fundamenta en la generación de una fuerza electromotriz producida por la unión de dos metales conductores distintos que están sometidos a temperatura, siendo el valor de la fuerza electromotriz, proporcional a ésta.[5]

- 1- Se fundamentan en la variación que experimenta la resistencia de los metales con la temperatura. Siendo esta variación aproximadamente lineal con la temperatura.[5]
- 2- Uno de los metales más usado para este tipo de detector es el platino (Pt-100), el cual se caracteriza por presentar una resistencia de  $100 \Omega$  a  $0^{\circ}\text{C}$ . [5]
- 3- La relación entre resistencia y temperatura viene dada por la relación:

$$R_T = R_0 [1 + At + Bt^2 + C (t - 100)^3] \quad (2)$$

El principio de medición de temperatura utilizando termocuplas se basa en tres principios físicos, que son:

**Efecto Seebeck:** al unir dos cables de materiales diferentes formando un circuito, se presenta una corriente eléctrica cuando las juntas se encuentran a diferente temperatura.[6]

**Efecto Peltier:** consiste en que cuando una corriente eléctrica fluye a través de una junta de dos metales diferentes, se libera o absorbe calor. Cuando la corriente eléctrica fluye en la misma dirección que la corriente Seebeck, el calor es absorbido en la junta caliente y liberado en la junta fría.[6]

**Efecto Thomson:** un gradiente de temperatura en un conductor metálico está acompañado por un gradiente de voltaje, cuya magnitud y dirección depende del metal que se esté utilizando.[6]

### 5.3. Fuente de energía

Plancha de calentamiento: instrumento práctico que permite ser utilizado en todos los procesos donde sea necesario calentamiento. Especial para laboratorios, docencia, investigación, industrias, etc.

Con especificaciones de:

Potencial eléctrico: 127 voltios

Corriente eléctrica: 6,5 amperios

Potencia eléctrica = Potencial eléctrico \* Corriente eléctrica

Con lo cual se obtiene la potencia consumida por la plancha:

$$\text{Watt} = \text{voltio} * \text{amperio} \quad (3)$$

## 6. EQUIPOS Y MATERIALES

- ◆ Plancha de calentamiento
- ◆ Termómetros bimetálicos
- ◆ Termocupla
- ◆ Barra metálica
- ◆ Soporte
- ◆ Pinza
- ◆ Calibrador
- ◆ Flexómetro

## 7. PROCEDIMIENTO

**Estudio de la transferencia de calor a través de una barra metálica suponiendo que solo hay conducción:**

1. Armar el siguiente montaje:

*Figura 4. Montaje de la barra metálica en contacto con la fuente.*



2. Medir la longitud y diámetro de la barra metálica y las distancias entre cada termómetro bimetálico y anotar medidas.
3. Prender fuente de calor a su máxima potencia y apuntar amperios y voltios de la plancha.
4. Una vez prendida la plancha esperar una hora para que el flujo de calor alcance a generar un patrón o una distribución estable de temperatura a lo largo de la barra.
5. Hacer respectivas mediciones de temperatura a lo largo de la barra y suponiendo que la distribución de la temperatura es solo en el eje x la cual se soporta por el hecho ( $L \gg D$ ).
6. Verificar medidas tomadas por los termómetros bimetálicos con ayuda de la termocupla con indicador.

## 8. RESULTADOS

- Graficar Temperatura vs longitud. Analice.
- Determinar una función  $T=f(L)$
- Hallar conductividad térmica con ayuda de la ley de Fourier suponiendo que todo el calor generado por la plancha fluye por la barra metálica además de que no hay flujo convectivo ni por radiación.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

[1] Kalipedia: Imagen Conducción de Calor en una Barra Metálica. [En Línea]. (Consultado el 8 sep. Del 2009). Disponible en < [http://www.kalipedia.com/fisica-quimica/tema/trabajo-energia-calor/graficos-barra-metalica-calor.html?x1=20070924klpcnafyq\\_203.Ges&x=20070924klpcnafyq\\_293.Kes](http://www.kalipedia.com/fisica-quimica/tema/trabajo-energia-calor/graficos-barra-metalica-calor.html?x1=20070924klpcnafyq_203.Ges&x=20070924klpcnafyq_293.Kes) >


[2] ROMANI, Julieta; QUIROGA, Paula: Conducción y Pérdida de Calor a lo Largo de una Barra, Universidad Favaloro, Buenos Aires Argentina.

[3] Flujo de Calor en Barras Metálicas: Práctica 9. [En Línea]. (Consultado el 7 sep. 2009). Disponible en < <http://www.uv.es/labtermo/quiones/termodinamica/cas/09-08.pdf> >

[4] BIRD, Byron; STEWART, Warren; LIGHFOOT, Edwin: Fenómenos de Transporte, España, Ed. Reverte. 1982.

[5] Sensores de Temperatura: Termocuplas. [En Línea]. (Consultado el 6 sep. del 2009): Disponible en <  
<http://www.unet.edu.ve/~ielectro/Sensores%20de%20Temperatura.htm> >

[6] Silge electronica S.A: Termocuplas. 2001. [En Línea]: (Consultado el 6 sep. 2009): Disponible en <  
<http://www.silge.com.ar/hojtec/redlion/castell/termocuplas.doc> >

|   |  |                |                      |       |
|---|--|----------------|----------------------|-------|
|  | <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b><br><b>LABORATORIO DE FENÓMENOS DE TRAN. I</b> |                | FECHA                | GRUPO |
|   | <b>MANUAL DE PROCEDIMIENTOS</b>  |                | <b>PRÁCTICA N° 3</b> |       |
| <b>ELABORÓ:</b>   |  | <b>REVISÓ:</b> |                      |       |
| <b>TITULO: DIFUSIÓN DE <math>\text{KMnO}_4</math> EN AGUA</b>                     |  |                |                      |       |

### 1. OBJETIVO GENERAL

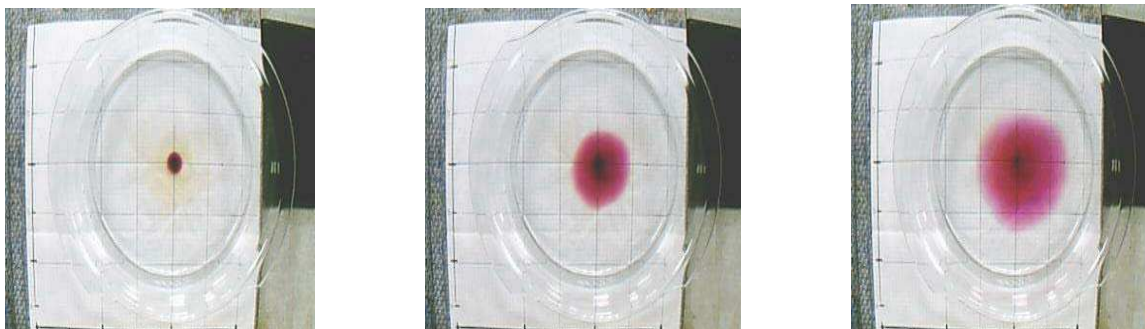
- ◆ Estudiar la difusión bidimensional del  $\text{KMnO}_4$  en agua.

### 2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ◆ Determinar el coeficiente de difusividad del  $\text{KMnO}_4$  en agua.
- ◆ Observar la dependencia del coeficiente de difusión con la temperatura.

### 3. MOTIVACIÓN

*Figura 1. Difusión de  $\text{KMnO}_4$  a distintos tiempos. [1]*



#### **4. PREGUNTAS GUÍAS**

1. ¿Qué cree que está ocurriendo en las graficas anteriormente presentadas?
2. ¿Qué cree que sucede cuando se destapa un perfume o cuando se coloca azúcar en agua? ¿Cuál es la fuerza que induce la difusión de un sustancia en otra?
3. ¿Con que nombre se conoce la ley que describe este fenómeno escríbala matemáticamente indicando que representa cada letra en la ecuación?
4. ¿Si en el plato hay una pequeña capa de agua y se agrega el agente colorante se podría decir que la difusión es bidimensional?
5. ¿La concentración de colorante en el fenómeno de difusión de que depende?
6. ¿Cuál es la ecuación de variación que modela la difusión bidimensional de una gota?
7. ¿Cuáles aproximaciones hay que tener en cuenta para realizar la experiencia?
8. ¿Cómo predeciría el efecto de la temperatura en la difusividad explique?

#### **5. FUNDAMENTO TEÓRICO**

El estudio de difusión centra su importancia en el balance de masa, determinado la masa transferida de un componente en el otro su aplicación central se sitúa en la absorción y la extracción con solventes.

##### **5.1. Ley De Fick**

La experiencia nos demuestra que cuando abrimos un frasco de perfume o de cualquier otro líquido volátil, podemos olerlo rápidamente en un recinto cerrado. Decimos que las moléculas del líquido después de evaporarse se difunden por el aire, distribuyéndose en todo el espacio circundante. Lo mismo ocurre si colocamos un terrón de azúcar en un vaso de agua, las moléculas de sacarosa se difunden por todo el agua. Estos y otros ejemplos nos muestran que para que tenga lugar el fenómeno de la difusión, la distribución espacial de moléculas no debe ser homogénea, debe existir una diferencia, o gradiente de concentración entre dos puntos del medio.[1]

Llamemos  $J$  a la densidad de corriente de partículas, es decir, al número efectivo de partículas que atraviesan en la unidad de tiempo un área unitaria perpendicular a la dirección en la que tiene lugar la difusión. La ley de Fick afirma que la densidad de corriente de partículas es proporcional al gradiente de concentración. [1]

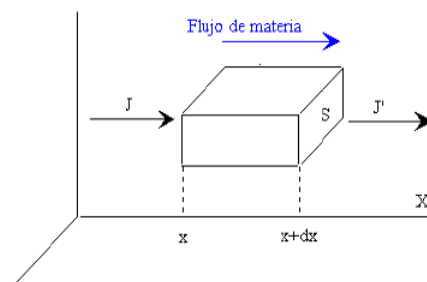
$$J = -D\nabla n \quad (1)$$

Que en una dimensión se escribe:

$$J = -D\nabla \frac{\partial n}{\partial x} \quad (2)$$

La constante de proporcionalidad se denomina coeficiente de difusión  $D$  y es característico tanto del soluto como del medio en el que se disuelve.

Figura 2. Gráfica de balance infinitesimal. [1]



La acumulación de partículas en la unidad de tiempo que se produce en el elemento de volumen  $S \cdot dx$  es igual a la diferencia entre el flujo entrante  $J_S$ , menos el flujo saliente  $J'_S$ , es decir.  $J_S - J'_S = - \frac{\partial j}{\partial x} S dx$  (3)

La acumulación de partículas en la unidad de tiempo es:  $(S dx) \frac{\partial n}{\partial t}$  (4)

Igualando ambas expresiones y utilizando la Ley de Fick se obtiene:[1]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial n}{\partial x} \right) = \frac{\partial n}{\partial t} \quad (4)$$

Ecuación diferencial en derivadas parciales que describe el fenómeno de la difusión. Si el coeficiente de difusión  $D$  no depende de la concentración:[1]

$$\frac{1}{D} \frac{\partial n}{\partial t} = \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} \quad (5)$$

## 5.2. Difusión bidimensional:

Una gota de tinta de radio  $a$  se pone en un recipiente de agua de radio  $R$ , siendo  $a \ll R$ . La profundidad del agua es pequeña, del orden de 1 cm, de modo que la gota de tinta alcanza el fondo del recipiente rápidamente y el movimiento de la tinta está determinado por el proceso de difusión únicamente.

El proceso de difusión bidimensional de la tinta en el agua se describe mediante la siguiente ecuación. [1]

$$\frac{\partial^2 n}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial n}{\partial r} = \frac{1}{D} \frac{\partial n}{\partial t} \quad (6)$$

Donde  $D$  es el coeficiente de difusión de la tinta en agua y  $n$  es la concentración de tinta.

En el instante inicial  $t=0$ , la tinta está distribuida homogéneamente en el agua dentro de un círculo de radio  $a$ . La distribución de la concentración es  $n=n_0$  para  $r \leq a$  y  $n=0$  para  $r > a$ .

La solución de la ecuación diferencial es:[1]

$$n(r, t) = \frac{n_0}{2Dt} \exp\left(\frac{-r^2}{4Dt}\right) \int_0^a \exp\left(\frac{-z^2}{4Dt}\right) \cdot I_0\left(\frac{r \cdot z}{2Dt}\right) \cdot z \cdot dz \quad (7)$$

Aproximaciones:

En la ecuación anterior tomamos el término bajo el signo integral aproximadamente 1, con el fin de trabajar con el término gaussiano de la concentración. Simplificando el ajuste de las mediciones mediante funciones del tipo gaussiano. Aplicando la aproximación y definiendo  $\sigma^2 = 2Dt$  nos queda:[1]

$$n(r, t) = \frac{n_0}{2\sigma^2} \exp\left(\frac{-r^2}{4\sigma^2}\right) \quad (8)$$

Aproximación que viene del tratamiento y solución de la difusión unidimensional, donde se obtiene el desplazamiento medio cuadrático en una dimensión siendo este igual:

$\langle x^2 \rangle = 2dt$ ; el cual como en este momento se toma dimensional se multiplica por dos además de que se entiende como desplazamiento medio cuadrático a la varianza poblacional en este caso de los radios desplazados en un tiempo fijo.[1]. Se toma el tiempo de toma de datos, como un tiempo que no afecta la temperatura del agua en la cual se disuelve el  $\text{KMnO}_4$  manteniéndose constante esta temperatura.

### 5.3. Manejo de datos

Hacer lecturas de radios a diferentes tiempos y tomar en esos instantes fotos para luego con ayuda de estas fotos y paint.net realizar la gráfica gaussiana con la cual se obtendrá la varianza poblacional al elevar la desviación estándar de esta gráfica al cuadrado.

La gráfica se realiza tomando la foto de un instante determinado midiendo los radios de desplazamiento y la intensidad de color de este radio desde cero hasta

el radio obtenido en ese momento fijo tanto para el lado derecho como el izquierdo datos que se tabulan para así obtener la campana.[1]

## **6. EQUIPOS Y MATERIALES**

- ◆ Caja Petry
- ◆ Gotero
- ◆ Probeta 50 ml
- ◆ Termómetro
- ◆ 2 vasos 250 ml
- ◆ Cronometro
- ◆ Hoja milimetrada con circunferencias de 1 cm
- ◆ Agua destilada
- ◆ Agua a 40 °C
- ◆  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

## **7. PROCEDIMIENTO**

### **7.1. Determinación coeficiente de difusividad $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$**

- Distribuir simétricamente la caja petry sobre la marcación de la hoja milimetrada.
- Ingresar una capa de agua destilada (menos de 1 cm de alta) a temperatura ambiente.
- Depositar en el centro de la caja petry 4 gotas de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  solución de la mejor forma para que esta parezca una circunferencia.
- Tomar tiempos y sus respectivos radios observando la difusión del  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  en el agua.

## 7.2. Dependencia del coeficiente difusivo con la temperatura


- Depositar agua en un vaso y calentarla para que su temperatura se eleve alrededor de los 40 °C
- Depositar una pequeña capa de esta agua sobre la caja petry para después agregarle las 4 gotas de  $\text{KMnO}_4$  tapando la caja petry.
- Hacer lecturas de tiempos y radios.
- Depositar agua en un vaso la cual se enfría en una nevera hasta que su temperatura descienda hasta los 13 °C.
- Se procede a depositar una pequeña capa de esta agua sobre la caja petry para después agregarle las 4 gotas de  $\text{KMnO}_4$  tapando la caja petry.
- Hacer lecturas de tiempos y radios.

## 8. RESULTADOS

- Hacer grafica de la dependencia del radio en función del tiempo. Analice.
- Determinar el coeficiente de difusión de  $\text{KMnO}_4$  en agua para temperatura ambiente.
- Observar la dependencia del coeficiente de difusividad con la temperatura y estimar los coeficientes a las otras temperaturas. Analice.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

[1]GONZALES, Michaela; ROMINA Emiliano: Laboratorio de Difusión; Universidad Buenos Aires, Diciembre 2006.

|   |  |                |                      |       |
|---|--|----------------|----------------------|-------|
|  | <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b><br><b>LABORATORIO DE FENÓMENOS DE TRAN. I</b> |                | FECHA                | GRUPO |
|   | <b>MANUAL DE PROCEDIMIENTOS</b>  |                | <b>PRÁCTICA Nº 4</b> |       |
| <b>ELABORÓ:</b>   |  | <b>REVISÓ:</b> |                      |       |
| <b>TITULO: CARACTERIZACIÓN REOLOGICA DE UN FLUIDO</b>                             |  |                |                      |       |

### 1. OBJETIVO GENERAL

- ◆ Caracterizar por medio de la Reología, distintos fluidos utilizando el viscosímetro Brookfield.

### 2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ◆ Conocer la clasificación de los fluidos utilizada en Reología.
- ◆ Comprender que propiedad del fluido es la que directamente ayuda a la clasificación por medio del seguimiento a la forma como cambia esta propiedad.
- ◆ Diseñar unos ensayos para caracterizar reológicamente determinados tipos de fluidos.
- ◆ Aplicar los ensayos anteriores a un grupo representativo de fluidos.
- ◆ Evaluar gráficamente os diferentes pares de esfuerzos y velocidades de deformación.

### 3. MOTIVACIÓN

*Figura 1. Viscosímetro Brookfield DVIII Rheometer.*



#### 4. PREGUNTAS GUÍAS

1. ¿Qué es la Reología?
2. ¿Qué representan los símbolos  $\mu$ ,  $\tau$ ,  $D$ ?
3. ¿Cuáles son los diferentes tipos de fluidos en Reología como se caracterizan?
4. ¿Por qué cree que medimos esfuerzos a diferentes velocidades de deformación?
5. ¿Mencione los rangos de mediciones de viscosidad de algunas agujas del Brookfield?
6. ¿Qué diferencia hay entre un fluido pseudoplastico y uno dilatante y como se reconocen en una grafica de esfuerzo y velocidad de deformación?
7. ¿Cree usted que la clasificación reológica sea importante a la hora de adquisición de determinado producto?

#### 5. FUNDAMENTO TEÓRICO

Un fluido se define como una sustancia que se deforma continuamente bajo la aplicación de esfuerzos cortantes. [1]

Cuando un fluido se intenta deformar, exhibe, además de sus propiedades como el olor, el color e incluso el sabor (si se trata de un alimento), un comportamiento mecánico característico, lo que provoca que unos fluidos se muevan con más dificultad que otros. Para identificar este comportamiento se utilizan métodos físicos mediante un equipamiento de medición adecuado. De este estudio físico se ocupa la Reología.[2]

Reología se define como la ciencia que se dedica al estudio de las deformaciones de un cuerpo sometido a esfuerzos producidos por fuerzas externas. El concepto se comenzó a investigar a Partir del siglo XVII gracias a los científicos Robert

Hooke e Isaac Newton, los cuales asentaron las ideas generales de dicha ciencia (incluso válidas en nuestros días).[2]

Isaac Newton introdujo además otro concepto muy importante en Reología, la viscosidad. La definió como la medida de la resistencia de un fluido a deformarse, producida por las fuerzas de fricción internas entre las capas adyacentes del fluido en movimiento.[2]

### **5.1. Caracterización Reológica:**

Las características reológicas de un fluido son uno de los criterios esenciales en el desarrollo de productos en el ámbito industrial. Frecuentemente, éstas determinan las propiedades funcionales de algunas sustancias e intervienen durante el control de calidad, los tratamientos (comportamiento mecánico), el diseño de operaciones básicas como bombeo, mezclado y envasado, almacenamiento y estabilidad física, e incluso en el momento del consumo (textura). [2]

Es muy importante conocer las propiedades reológicas de un fluido. Como ejemplo, se citan las propiedades que deben tener algunos fluidos.

- La pintura (o la tinta de impresión) debe ser fácil de extender (máxima fluidez, disminución de viscosidad) en el momento de aplicación, y una vez depositada se debe volver más viscosa para que no se derrame, con el tiempo de aplicación).[2]
- El aceite de girasol, o la leche deben mostrar una sensación agradable en la boca a la hora de digerirlos, manteniendo en todo momento un valor constante de viscosidad.[2]
- La salsa debe mostrar una disminución de viscosidad a la hora de agitarlo para que salga del envase.[2]
- La harina de maíz mezclada con agua debe formar un producto muy viscoso al removerla rápidamente para elaborar productos alimenticios con gran consistencia y para evitar derrames en el recipiente en que se encuentra. [2]

## 5.2. Viscosímetro Brookfield DVIII Rheometer:

Cuando están en equilibrio los fluidos no pueden soportar fuerzas tangenciales o cortantes. Todos los fluidos son compresibles en cierto grado y ofrecen poca resistencia a los cambios de forma.[3] La densidad y la viscosidad son las propiedades más importantes en el flujo de fluidos. Así, la posibilidad de obtener datos sobre la viscosidad de los materiales nos permiten tener una idea del tipo de producto con el que estamos trabajando. Los laboratorios de la mayor parte de las industrias farmacéutica, alimenticia, química, etc. necesitan tomar medidas de viscosidad de sus productos en sus diferentes etapas de elaboración.

## 5.3. Técnicas para medir viscosidad

Revisaremos aquí el procedimiento de medición de la viscosidad con el viscosímetro Brookfield DVII Rheometer aunque sin centrarnos en el detalle operativo de los mismos, ya que como cualquier instrumento de precisión, tal información está incluida en el correspondiente Manual del Usuario.[4]

- *¿Qué datos son relevantes a la hora de tomar una medida de viscosidad?:*

Los datos que se deben registrar son: modelo del viscosímetro, tipo de aguja (spindle), porta agujas, velocidad rotacional, temperatura, tiempo de rotación de la aguja, procedimiento de preparación de la muestra (si lo hubiera).[4]

- *¿Que debo controlar de la aguja?:*

Antes de usar una determinada aguja es preciso examinarla para descartar posibles defectos por golpes o por corrosión que pudieran ocasionar lecturas falsas.[4]

- *¿Cómo seleccionar la velocidad de la aguja?:*

Cuando el protocolo de medición de la muestra a medir es conocido, hay que prestar especial atención a cumplirlo fielmente en lo que hace al modelo de viscosímetro, la aguja que corresponda y la velocidad especificada.[4]

Si el protocolo no es conocido, el método a utilizar es el de prueba y error, verificando siempre que la lectura del dial del viscosímetro analógico o del display del viscosímetro digital esté siempre entre 10 y 100 del porcentaje de torque. Si la lectura es superior al 100%, se debe seleccionar una velocidad más baja y/o una aguja más pequeña; por el contrario, si la lectura es inferior al 10% se debe seleccionar una velocidad más alta y/o una aguja más grande.

Existe, para cada combinación de aguja y velocidad, un rango máximo de viscosidad que es igual al factor de la aguja multiplicado por 100, y un rango mínimo de viscosidad que es igual a este factor multiplicado por 10. Por ejemplo para la aguja #2 de un viscosímetro LVT a 12 rpm el factor es igual a 25. Por tanto, el máximo rango para esta combinación será de 2500 cP y el mínimo de 250 cP. Cuando la prueba requiere medidas a diferentes velocidades, se debe seleccionar una aguja que permita obtener lecturas dentro de la escala permitida (exactitud del viscosímetro) para todas las velocidades. [4]

- *Condiciones de la muestra:*

La muestra no debe contener burbujas de aire y debe estar a una temperatura constante y uniforme. Esto puede verificarse tomando la temperatura en varios puntos de la muestra. Antes de tomar la medida de viscosidad, la muestra, la aguja debe estar a la misma temperatura. Mantener la homogeneidad de la muestra es fundamental, especialmente en sistemas dispersos donde las partículas pueden sedimentar.

- *Inmersión de la aguja:*

La aguja debe sumergirse hasta su marca de inmersión. En algunos casos la muestra se altera al sumergirse la aguja, por lo que es recomendable sumergirla primero en un punto diferente al que se quiere medir, y luego mover la muestra horizontalmente hasta el punto seleccionado.[4]

- *Sensibilidad y exactitud:*

Los viscosímetros Brookfield tienen una exactitud de  $\pm 1\%$  del rango a fondo de escala para cada combinación de aguja/velocidad, y una repetitividad de  $\pm 0.2\%$ . La exactitud de una lectura particular depende del porcentaje de torque leído. En general, son aconsejables los valores para torque mayores a  $10\%$ . [4]

• *¿Cómo obtener una lectura del viscosímetro?*

Antes de encender el viscosímetro es necesario asegurarse de que se encuentre perfectamente fijo al pie y nivelado.

Luego se debe seleccionar una combinación de aguja/velocidad. Debe ponerse especial énfasis en no intercambiar las agujas correspondientes a los modelos RV y LV, recordando que una vez conseguido el equilibrio ("auto-cero" en equipos digitales, y "apagado" en analógicos), el porcentaje de torque puede variar entre  $0.1$  y  $0.2\%$ . Estos viscosímetros son calibrados por proveedores externos, de acuerdo a normas internas de funcionamiento, normas ISO, o por simple control de su equipamiento, aunque puede usarse algunas sustancias de viscosidad conocida para una validación de las medidas. [4]

Los fluidos (newtonianos y no newtonianos) que han sido ensayados se muestran a continuación:

*Tabla 1. Fluidos a caracterizar*

|                 |                                      |
|-----------------|--------------------------------------|
| NEWTONIANOS     | - Aceite de girasol                  |
| PSEUDOPLÁSTICOS | - Salsa de tomate<br>- Crema Colgate |
| TIXOTRÓPICOS    | - Yogur                              |

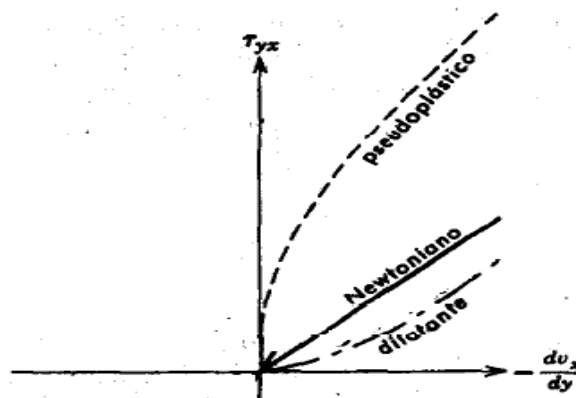
En cuanto a los demás tipos de fluidos, hay que comentar que no han podido ensayarse, detallándolo a continuación:

- Se ha intentado realizar un ensayo con un fluido reopéctico (el yeso), pero ha dado muchos problemas por su rápida solidificación, y no se ha encontrado otro fluido de este tipo menos viscoso.
- El fluido dilatante por efecto de su rápida gelatinización al ser un almidón no pudo ser utilizado en su caracterización.

La caracterización reológica se realiza de una manera cualitativa de los datos obtenidos por el viscosímetro en la cual se elabora una grafica de esfuerzo versus velocidad de deformación a los diferentes tipos de fluidos mediante una forma más generalizada de la ecuación de newton:

$$\tau = -\mu \frac{dv_x}{dy}$$

Figura 2. Comportamiento fluido. [5]

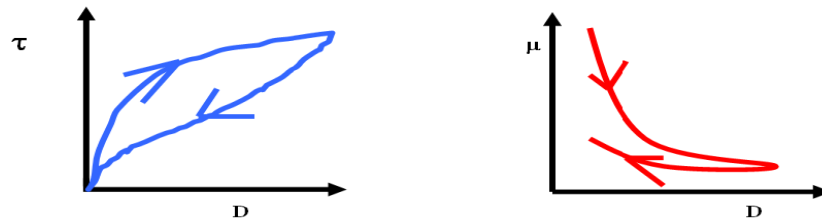


**Newtoniano:** fluido que al representar gráficamente  $\tau_{xy}$  contra  $(-dv/dy)$  se obtiene una recta que pasa por el origen, cuya pendiente es la viscosidad ( $\mu$ ) a cierta temperatura y presión.[5]

**Pseudoplástico:** comportamiento en el cual se presenta una disminución de la viscosidad ( $\mu$ ) con el aumento de  $(-dv/dy)$  velocidad de deformación.[5]

**Dilatante:** comportamiento en el cual se presenta un aumento de la viscosidad ( $\mu$ ) con la disminución de  $(-dv/dy)$  velocidad de deformación.[5]

Figura 3. Gráficas de esfuerzo y viscosidad vs deformación tixotrópico. [6]



**Tixotrópico:** comportamiento en el cual se presenta una disminución de la viscosidad con el aumento de  $(-dv/dy)$ , hasta un punto en el cual al comenzar a recolectar datos disminuyendo las velocidades de deformación hasta llegar a la inicial, la viscosidad comienza a crecer aunque en ningún momento este valor sobrepasa al de la viscosidad obtenida con la misma velocidad de deformación del mismo valor que se logro en el proceso de aumentar velocidades de deformación. Los fluidos tixotrópicos se caracterizan por un cambio de su estructura interna al aplicar un esfuerzo. Esto produce la rotura de las largas cadenas que forman sus moléculas.

Dichos fluidos, una vez aplicado un estado de cizallamiento (esfuerzo cortante), sólo pueden recuperar su viscosidad inicial tras un tiempo de reposo. La viscosidad va disminuyendo al aplicar una fuerza y acto seguido vuelve a aumentar al cesar dicha fuerza debido a la reconstrucción de sus estructuras y al retraso que se produce para adaptarse al cambio. Aparece un fenómeno de Histéresis.[2]

En los párrafos anteriores se ha realizado una breve introducción a la Reología, Además se han detallado objetivos que se querían conseguir con esta práctica.

## 6. EQUIPOS Y MATERIALES

- ◆ Fluidos a clasificar
- ◆ Viscosímetro de Brookfield

- ◆ Toallas
- ◆ espátula
- ◆ Programas sistemáticos para cada fluido

## **7. PROCEDIMIENTO**

→Leer sobre el manejo del Viscosímetro de Brookfield.[7]

### **7.1. Determinación Reológica aceite:**

- A partir de la textura del aceite escoger empíricamente la aguja a utilizar y el programa a correr (para el caso del aceite escoger la aguja SC4-18 con el porta aguja R-13, con el programa 90-240.RCL).
- Comenzar zeroteando el Brookfield con el programa Rheocalc para proseguir a suministrar la aguja correspondiente montándola cuidadosamente.
- La cantidad de sustancia a usar debe ser la necesaria para tapar la aguja sin inundar el porta-agujas.
- Ingresar en el programa el tipo de aguja que va a utilizar y tomar lectura de la temperatura a la cual está la sustancia a estudiar.
- Cargar el programa respectivo (90-240.RCL) para la sustancia y oprimir START.
- Verificar que el % torque exceda el 10.
- Imprimir resultados.
- Limpiar instrumentos utilizados.

### **7.2. Determinación reológica salsa tomate:**

- A partir de la textura del aceite escoger empíricamente la aguja a utilizar y el programa a correr (para el caso de la salsa se escoge la aguja SC4-34 con el porta aguja R-13, con el programa 10-100.RCL).

- Suministrar al Brookfield la aguja correspondiente montándola cuidadosamente.
- La cantidad de sustancia a usar debe ser la necesaria para tapar la aguja sin inundar el porta-agujas.
- Ingresar en el programa el tipo de aguja que va a utilizar y tomar lectura de la temperatura a la cual está la sustancia a estudiar.
- Cargar el programa respectivo (10-100.RCL) para la sustancia y oprimir START.
- Verificar que el valor del % torque exceda el 10
- Imprimir resultados.
- Limpiar instrumentos utilizados.

### **7.3. Determinación reológica crema dental:**

- A partir de la textura del aceite escoger empíricamente la aguja a utilizar y el programa a correr (para el caso de la salsa se escoge la aguja SC4-25 con el porta aguja R-13, con el programa 1-10.RCL).
- Suministrar al Brookfield la aguja correspondiente montándola cuidadosamente.
- La cantidad de sustancia a usar debe ser la necesaria para tapar la aguja sin inundar el porta-agujas.
- Ingresar en el programa el tipo de aguja que va a utilizar y tomar lectura de la temperatura a la cual está la sustancia a estudiar.
- Cargar el programa respectivo (1-10.RCL) para la sustancia y oprimir START.
- Verificar que el valor del % torque exceda el 10
- Imprimir resultados.
- Limpiar instrumentos utilizados.

#### **7.4. Determinación reológica yogur alpina:**


- A partir de la textura del aceite escoger empíricamente la aguja a utilizar y el programa a correr (para el caso de la salsa se escoge la aguja SC4-25 con el porta aguja R-13, con el programa arthur.RCL).
- Suministrar al Brookfield la aguja correspondiente montándola cuidadosamente.
- La cantidad de sustancia a usar debe ser la necesaria para tapar la aguja sin inundar el porta-agujas.
- Ingresar en el programa el tipo de aguja que va a utilizar y tomar lectura de la temperatura a la cual está la sustancia a estudiar.
- Cargar el programa respectivo (arthur.RCL) para la sustancia y oprimir START.
- Verificar que el valor del % torque exceda el 10
- Imprimir resultados.
- Limpiar instrumentos utilizados.

#### **8. RESULTADOS**

- Tabular los diferentes pares ordenados de esfuerzo y deformación expulsados por el programa.
- Graficar cada par ordenado (gráfica ( $\tau$  vs  $D$ )).
- Graficar viscosidad Vs deformación
- Identificar reológicamente con ayuda de la gráfica cada fluido problema.
- Cual sustancia problema creería usted que podría bombearse con menos requerimientos energéticos.
- Importancia del conocimiento de un fluido dilatante o uno pseudoplástico.
- Comparar esta clasificación reológica con la reportada teóricamente.
- Que tipos de reología no se identificaron en las sustancias estudiadas.
- Identificar qué modelo matemático debe cumplir cada tipo de fluido.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- [1] RAMÍREZ, Juan: Introducción a la Reología. Cali. 2006. [En Línea]. (Consultado el 15 sep. del 2009): Disponible en < <http://www.ingenieriaquimica.net/recursos/descarga.php?id=162&accion=descargar> >
- [2] UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA: Caracterización reología de fluidos: [En Línea]. (Consultado el 11 sep. del 2009). Disponible en < [http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/pfc\\_reologia/resumen.doc](http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/pfc_reologia/resumen.doc) >
- [3] LOPEZ, Wagner: Guía de Mantenimiento e Inspección del Equipo Mecánico Hidráulico Utilizado en la Construcción; y Mantenimiento de Líneas de Trasmisión Y Distribución de Energía Eléctrica. 1999. [En Línea]. (Consultado el 15 sep. del 2009). Disponible en < [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_4628.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_4628.pdf) >
- [4] CATLAB: Portal de los Laboratorios Analíticos: Mantenimiento Calibración y Certificación de un Viscosímetro Brookfield. Buenos Aires: [En Línea]. (Consultado el 18 de sep. Del 2009). Disponible en < [http://www.catlab.com.ar/imprimir\\_art.php?accion=imprimir&idm=135](http://www.catlab.com.ar/imprimir_art.php?accion=imprimir&idm=135) >
- [5] BIRD, Byron; STEWART, Warren; LIGTHFOOT, Edwin: Fenómenos de Transporte. España: Ed. reverté. 1982.
- [6] UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA: Introducción a la Reología. [En Línea]. (Consultado el 17 sep. del 2009). Disponible en < [http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/pfc\\_reologia/anexo1.doc](http://www.unizar.es/dctmf/jblasco/pfc_reologia/anexo1.doc) >
- [7] ROOKFIELD ENGINEERING LABORATORIES: Brookfield Synchro-Letric Viscometer, Operator Manual. [En línea]. [Consultado el día 19 sep. 2009]. Disponible en < <http://www.brookfieldengineering.com/support/documentation/operator-manual.asp> >

|   |  |                      |              |
|---|--|----------------------|--------------|
|  | <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b><br><b>LABORATORIO DE FENÓMENOS DE TRAN. I</b> | <b>FECHA</b>         | <b>GRUPO</b> |
| <b>MANUAL DE PROCEDIMIENTOS</b>   |  | <b>PRÁCTICA Nº 5</b> |              |
| <b>ELABORÓ:</b>   |  | <b>REVISÓ:</b>       |              |
| <b>TITULO: EFECTO WEISSENBERG</b>   |  |                      |              |

### 1. OBJETIVO GENERAL

- ◆ Reconocer que efecto se produce en fluidos poliméricos y cual efecto se produce en las sustancias newtonianas cuando este se agita.

### 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ◆ Establecer las diferencias entre un fluido newtoniano y un fluido polimérico.
- ◆ Observar el efecto producido en un fluido polimérico y uno newtoniano que se encuentra bajo la acción de fuerzas externas.

### 3. MOTIVACIÓN

*Figura 1. Efecto Weissenberg. [1]*



#### 4. PREGUNTAS GUÍAS

1. ¿Qué tipo de fluido creen que hayan utilizado para la figura anterior?
2. ¿Porque el fluido no es modelado por la ley de newton?
3. ¿Nombre algunos polímeros que conozca?
4. ¿Con que nombre se conoce el efecto visto en la gráfica anterior?
5. ¿El efecto Weissenberg en que consiste y a que se debe?
6. ¿A qué se debe que en unos fluidos el efecto Weissenberg sea más pronunciado que en otros?
7. ¿Si el esfuerzo que genera la varilla desaparece el efecto Weissenberg también, por qué?
8. ¿El efecto Weissenberg en el almidón de yuca se logra cuando esta alcanza los 70 °C, por qué?
9. ¿En qué consiste el efecto vórtice, explique?
10. ¿Qué tipos de fluidos generan un vórtice?
11. ¿Qué problemas prácticos conoce donde es importante saber cómo fluye determinada sustancia?

#### 5. FUNDAMENTO TEÓRICO

Conocer el comportamiento reológico de determinada situación es de importancia para prever el comportamiento del material, colaborar en fácil o difícil mezclado. Determinar cómo fluyen los fluidos newtonianos y como lo hacen los no newtonianos es el principio del mar de estudio de estos dos tipos de fluidos.

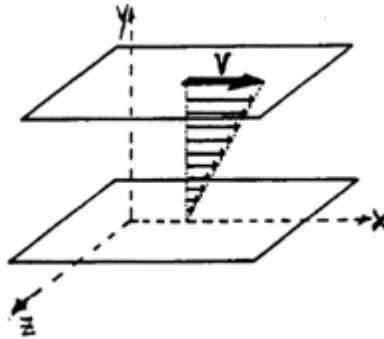
##### 5.1. Flujo no Newtoniano

La viscosidad de materiales no newtonianos no es constante, cuando la temperatura lo es, como en los fluidos newtonianos, si no que es función del esfuerzo cortante ( $\tau$ ) o de la velocidad de deformación cortante ( $\dot{\gamma}$ ) y también del

tiempo. por tanto, la representación gráfica  $\tau$ -  $\gamma$  deja de ser una línea recta para transformarse en una línea curva. Se puede definir una viscosidad aparente para un determinado valor de la velocidad de deformación (o tensión) como la pendiente de la secante a la curva que pasa por el origen y por el punto definido por los valores de las variables anteriores.[2]

## 5.2. Tensiones normales

Son las tensiones internas dirigidas perpendicularmente. Cuando el fluido esta en reposo las tensiones se reducen a la presión hidrostática, cuando está en movimiento aparecen las tangenciales y las normales. Existe una diferencia fundamental entre las tensiones normales en un fluido como el agua y en una solución polimérica. En una corriente de cizalla simple como la ejercida entre dos planos, las tensiones normales en un fluido newtoniano siguen siendo isotrópicas, mientras que un fluido no-newtoniano rompe la isotropía de forma que la tensión  $\sigma_{xx}$  ejercida en la dirección de flujo en el eje x es distinta a las tensiones  $\sigma_{yy}$  y  $\sigma_{zz}$  que se ejercen en direcciones normales a ella, según como se muestra en la figura:



**Fig.2 (Tensiones normales).[3]**

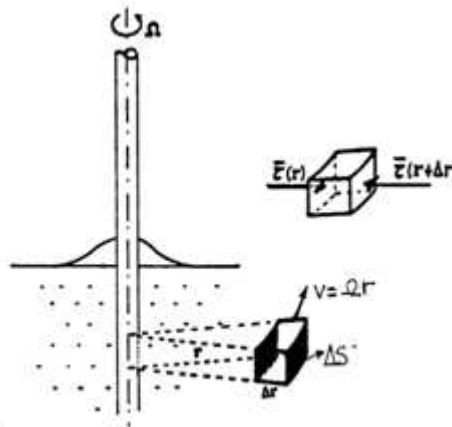
Así un fluido newtoniano es un fluido de viscosidad constante que en una corriente de cizalla simple ejerce tensiones normales iguales, es decir que las diferencias de tensiones normales no nulas son una característica esencial del comportamiento no-newtoniano.[3]

### 5.3. Efecto weissenberg

Un efecto ocasionado por las tensiones normales, el que se encuentra en algunos fluidos no-newtonianos y que se manifiesta en la subida de un fluido por una varilla que esta girando dentro de él.

Considerando una barra que gira en el seno de un fluido con velocidad constante  $\Omega$ , el movimiento de la barra generara un movimiento de rotación al fluido, que se irá ralentizando a medida que nos alejamos de la barra. Analizando un elemento de volumen situado a una distancia  $r$  del eje de la barra, este gira con una velocidad angular  $\omega$ , tal que su velocidad lineal  $v = \omega \cdot r$  y se someterá a una fuerza centrífuga:

Figura 3. Análisis elemento de volumen. [3]



$$F_c = (\rho S \Delta r) \frac{v^2}{r} = \rho S r \omega^2 \Delta r \quad (1)$$

Siendo  $s$  el área de las caras perpendiculares al radio  $r$ .  $f_c$  estará equilibrada por las fuerzas internas que el fluido ejerce en dirección radial  $r$ . si  $\sigma(r)$  designa la tensión en esa dirección y la fuerza neta ejercida por el fluido será:

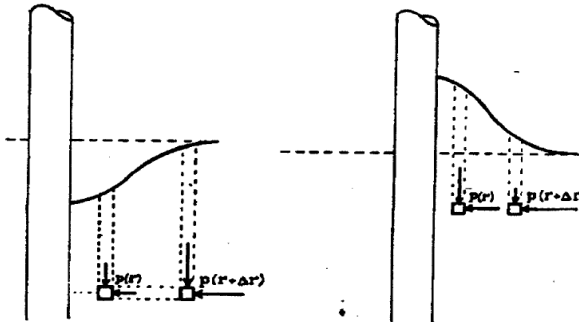
$[\sigma(r) - \sigma(r+\Delta r)]s$  (2). La condición de equilibrio se escribe:

$$[\sigma(r) - \sigma(r+\Delta r)]s + \rho S r \omega^2 \Delta r = 0 \quad (3)$$

Ya que  $(\rho S r \omega^2 \Delta r)$  es positivo para equilibrar la fuerza centrífuga, el fluido debe generar tensiones internas que crezcan con  $r$ .

Tensión= tensión isotropa + tensión anisótropo (tensión normal)  
 $\sigma(r) = p(r) + \sigma_n(r)$  (4). En un fluido newtoniano  $\sigma_n(r) = 0$ , por esto la presión es una función creciente de  $r$ . debido a la isotropía de  $p(r)$  se sigue entonces que la altura  $z$  por encima de cada elemento debe ser también una función creciente de  $r$ , lo que implica un perfil creciente de la superficie libre, es decir una depresión en las proximidades de la barra.[3]

Figura 4. Forma superficie fluidos newtonianos y no-newtonianos. [3]



Efecto weissenberg: la distribución de presiones modifica la forma de la superficie libre.

Suponiendo que  $\sigma_n(r) \neq 0$ :  $p(r+\delta r) - p(r) = [\sigma_n(r) - \sigma_n(r+\delta r)] + \rho \omega^2 \Delta r$

Se puede ver que si el primer sumando del segundo miembro es negativo y superior en valor absoluto al segundo sumando, la presión puede ser una función decreciente del radio y, por esto el perfil de la superficie libre debe decrecer también con  $r$ . [3]

Haciendo girar un vaso que contiene un líquido:

En los líquidos newtonianos la superficie del vórtice es parabólica, hundida en el centro. En los líquidos viscoelásticos la parábola se invierte quedando convexa en la zona próxima al eje de giro.

#### **5.4. Gelatinización de almidón:**

En este proceso que se realiza alrededor de los 70 °C se generan cadenas de amilosa de bajo peso molecular y altamente hidratada. En el presente ensayo se realizara con almidón de yuca debido a sus propiedades de gelatinización rápida.

### **6. EQUIPOS Y MATERIALES**

- ◆ 3 vasos de precipitados 600 ml
- ◆ Mezclador mecánico
- ◆ 2 varillas metálicas
- ◆ 2 varillas de vidrio
- ◆ Soporte con nuez
- ◆ 2 vidrios de reloj
- ◆ Espátula
- ◆ Balanza
- ◆ Mezclador mecánico con control de temperatura
- ◆ Placa calentamiento
- ◆ Agua
- ◆ Almidón de yuca

### **7. PROCEDIMIENTO**

**Preparación del polímero a estudiar (almidón de yuca)**

Se toma una cantidad de 400 ml de agua caliente y se le adiciona 80 gramos de almidón de yuca para tener una solución 20% en peso agitando con una varilla manualmente evitando que esta se pegue.

### 7.1. Estudio del Efecto Weissenberg

- Tomar la solución de almidón de yuca y colocar sobre una placa de calentamiento se comienza el mezclado mecánico a unas 300 revoluciones controlando la temperatura para que esta se aproxime a 70 °C momento en el cual se gelatiniza la solución en la parte inferior, continuamente con ayuda de una varilla de vidrio ayudamos manualmente la distribución homogénea del fluido gelatinizado.
- Apagar el equipo cuando el líquido alcance la mitad de la altura de la varilla agitadora opcionalmente agregar 12 ml de almidón para romper los polímeros en monómeros y facilitar su limpieza.

### 7.2. Estudio del efecto sobre un fluido newtoniano

Utilizando agua como fluido de estudio, se deposita 400 ml de agua en un vaso el cual se somete a agitación mecánica observando el efecto que se produce en esta. En caso de no observarse bien puede usarse algún colorante para identificar y observar el efecto.

## 8. RESULTADOS

Realizar un cuadro de semejanzas y diferencias entre los dos fluidos.


## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] UNIVERSIDAD DE TORONTO: Imagen viscoelastic effect. [En Línea. (Consultado el 18 sep. del 2009). Disponible en <  
<http://www.mie.utoronto.ca/labs/rheology/objectives.html> >
- [2] UNIVERSIDAD DE OVIEDO: Reología. [En Línea]. (Consultado el día 13 sep. del 2009). Disponible en <

<http://www.etsimo.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion6.POLIMEROS.Reologia%20de%20fundidos.ppt.pdf> >

[3] UNIVERSIDAD DE OVIEDO: Principios Físicos de Fabricación con polimeros. [En Línea]. (Consultado el 17 sep. del 2009). Disponible en <  
[http://www.etsimo.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion6.PLASTICOS.ReologiaFundidos.p  
df](http://www.etsimo.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion6.PLASTICOS.ReologiaFundidos.pdf) >

**ANEXO E**  
**MANUAL DE PRACTICAS DE LABORATORIO FENOMENOS II**

|   |  |                      |              |
|---|--|----------------------|--------------|
|  | <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b><br><b>LABORATORIO DE FENÓMENOS DE TRA. II</b> | <b>FECHA</b>         | <b>GRUPO</b> |
| <b>MANUAL DE PROCEDIMIENTOS</b>   |  | <b>PRÁCTICA Nº 1</b> |              |
| <b>ELABORÓ:</b>   |  | <b>REVISÓ:</b>       |              |
| <b>TITULO: DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE REYNOLDS</b>                               |  |                      |              |

**1. OBJETIVO GENERAL**

- ◆ Estudiar el patrón de flujo de agua en las tuberías horizontales en diferentes diámetros y a diferentes caudales

**2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- ◆ Determinar el número de Reynolds para distintos caudales.
- ◆ Clasificar cada flujo de agua manejado según le numero de Reynolds y observar estos tipos de flujos.
- ◆ Determinar la incidencia del diámetro de tubería en el tipo de flujo.

**3. MOTIVACIÓN** *Figura 1 (Batería de pérdidas). [1]*

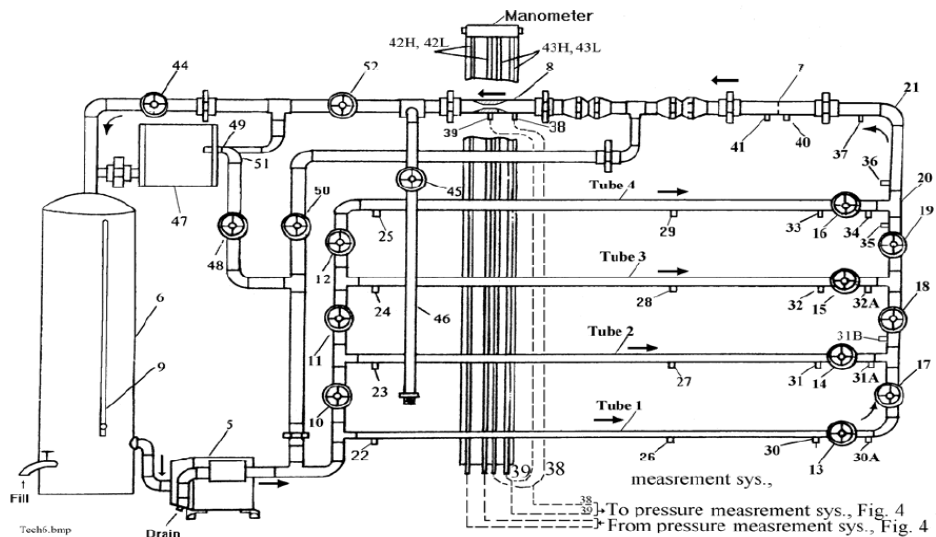


Tabla 1 (Especificaciones batería de perdidas). [1]

**Nomenclature**

| No. | Item         | No.   | Item           | No.   |                      | No. | Item      |
|-----|--------------|-------|----------------|-------|----------------------|-----|-----------|
| 1   | 3/8" tube*   | 7     | Orifice meter  | 22-41 | Static pressure taps | 49  | Exit tube |
| 2   | 1/2" tube*   | 8     | Venturi meter  | 42-43 | Manometer tubes (4)  | 50  | Valve     |
| 3   | 3/4" tube*   | 9     | Sight glass    | 45    | Valve                | 51  | Elbow     |
| 4   | 1" tube*     | 10-19 | Gate valves    | 46    | Overflow pipe        | 52  | Valve     |
| 5   | Pump & Motor | 20    | 1" Tee fitting | 47    | Observation tank     |     |           |
| 6   | Tank         | 21    | 1" elbow       | 48    | Valve                |     |           |

\*Nominal size

**4. PREGUNTAS GUÍAS**

1. ¿Qué es el número de Reynolds y que relaciona? ¿Cuáles son sus dimensiones?
2. ¿Qué aplicabilidad tiene el conocimiento del número de Reynolds?
3. ¿Cómo se define el número de Reynolds matemáticamente?
4. ¿Qué valores de Reynolds hay que tener para que se presente un régimen laminar uno turbulento y uno en transición, que características observables presenta cada tipo de flujo?
5. ¿Por una tubería específica de diámetro D circula un líquido X a una Velocidad V, y se encuentra en estado estacionario, si queremos llevarlo a un estado turbulento como cree que se podría realizar?
6. ¿Si un fluido circula por una tubería y sus efectos inerciales son dominantes el patrón de flujo con el que circula es?

**5. FUNDAMENTO TEÓRICO**

El número de Reynolds es un número adimensional que colabora con el entendimiento de los fenómenos, el cual permite reconocer los regímenes de flujos, además de poder hacer uso de él cuando se trate de hacer una operación a escala, cuando dos sistemas diferentes tienen mismo Reynolds y mismo Froude los sistemas se describen con las mismas ecuaciones diferenciales, así se simularía un proceso en pequeñas cantidades y poder ver cómo se comportaría en una escala mayor de ahí que radique la importancia de su estudio. [3]

### 5.1. Régimen laminar

En el régimen laminar se mantiene el concepto de línea de corriente y se puede considerar la existencia de láminas fluidas en movimiento regular, es decir siguiendo las líneas de corriente, y manteniendo un cierto paralelismo entre las diferentes láminas.[2]

### 5.2. Régimen de transición

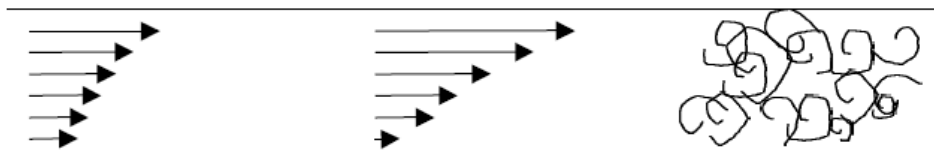
Cuando el régimen laminar sufre una perturbación o la cizalla intrínseca a ese régimen alcanza valores considerables se produce la inestabilización en el régimen inicialmente laminar pasando, después de una fase de transición, al régimen turbulento. Las perturbaciones por causa externa al movimiento fluido pueden ser de diversa índole: Obstáculos, efectos térmicos con variaciones espaciales de densidad, vibraciones en los conductos, etc.[2]

### 5.3. Régimen turbulento

El régimen turbulento está caracterizado por las siguientes propiedades:

- El movimiento de partículas fluidas es muy desordenado (caótico).
- Imposible de identificar las líneas de corriente
- Fuertemente rotacional, con existencia de múltiples circulaciones cerradas o remolinos de diferentes escalas superpuestos a un movimiento general.
- Es muy disipativo (pérdida de energía)
- Se favorece la mezcla de magnitudes y de constituyentes.

*Figura 2. (Patrones visuales de flujo). [2]*



#### 5.4. Número de Reynolds

Existe un número adimensional que determina el régimen de movimiento. Se conoce como número de Reynolds,  $Re$ , relaciona los efectos de inercia (masa y velocidad) con los efectos viscosos. Así cuando la velocidad de un fluido es alta los efectos de inercia son dominantes y el régimen tiende a hacerse turbulento como consecuencia de importantes cizallas en su interior. Cuando  $Re$  es grande el régimen es turbulento. Por el contrario, cuando los efectos dominantes son los viscosos el régimen es laminar y el comportamiento del fluido es regular.

$$Re = \frac{D * V * \rho}{\mu}, \quad \text{Ecuacion 1. [3]}$$

$DV\rho$  Representa los efectos de inercia ya que  $\rho$  es la densidad,  $V$  es una velocidad de referencia (o escala característica de velocidad) y  $D$  una dimensión transversal al flujo laminar, y turbulento (longitud de escala característica);  $\mu$  es la viscosidad, por lo que representa los efectos de rozamiento. [2]

En todos los flujos existe un valor de este parámetro para el cual se produce la transición de flujo laminar a flujo turbulento, habitualmente denominado Reynolds crítico. Generalmente para flujos en tubos horizontales se establecen los siguientes valores críticos del número de Reynolds:  $Re < 2000$  flujo laminar,  $2000 < re < 4000$  zona de transición,  $re > 4000$  flujo turbulento. [4]

#### 5.5. Perdidas por fricción de superficie en tubería recta

Las pérdidas por fricción de superficie en tubería recta se calculan con la siguiente ecuación:

$$h = 4f \left( \frac{L}{D} \right) * \frac{V^2}{2g_c} \quad \text{Ecuación 2 [3]}$$

Donde  $f$  es el factor de fricción de fanning,  $L$  la longitud de la tubería en metros,  $D$  el diámetro en metros y  $V$  la velocidad promedio del fluido en metros/segundo.[2]

## 6. EQUIPOS Y MATERIALES

- ◆ Fluid Circuit System, Model 9009 ( batería de perdidas)
- ◆ Cronometro
- ◆ Agua

## 7. PROCEDIMIENTO

- Inicialmente conectar el equipo y encenderlo.
- Abrir la válvula de entrada de agua (Fill) para llenar el tanque de almacenamiento hasta su máxima altura según el medidor de nivel.
- Conectar las mangueras que unen el medidor de platina de orificio con el indicador de diferencias de alturas.
- Hacer circular agua por la tubería de 1" de diámetro abriendo las válvulas 48-10-11-12-16-52-44 y mantenemos cerrada la válvula de descarga 45.
- Manipular las válvulas 10 y 44 para calibrar el caudal de agua relacionándolo con la diferencia de alturas.
- Adecuar una diferencia de altura determinada para obtener el caudal correspondiente.
- Para obtener el caudal cerrar completamente la válvula 44 y abrir completamente la válvula 45 de manera simultánea y vaciar un volumen establecido (observar el medidor de nivel del tanque de almacenamiento) tomando el respectivo tiempo.
- Observar el visor de flujo y manipulando las válvulas 10 y 44 determinar intervalos aproximados de regímenes de flujo, sean estos laminar, transición y turbulento.
- Trabajar ahora con la tubería 3/4" de diámetro para este caso cerrar la válvula 12 y abrir la 15 y la 19.

## 8. RESULTADOS

- Calcular Reynolds para cada caudal de trabajo en las tuberías. Analice.
- Compare los resultados obtenidos de Q, V y Re; respecto al tipo de flujo y identificar si existen diferencias. Analice.

- Identificar regímenes de flujo según el número de Reynolds obtenido. Analice.
- Analizar la dependencia del Reynolds con el diámetro de tubería y cuál sería la forma más práctica para variar el tipo de flujo.
- Determinar las pérdidas por fricción a lo largo de las tuberías. Analice.


## 9. BIBLIOGRAFÍA

[1] TECHNOVATE, Experiment Of Pressure Losses For Turbulent Flow In Straight Pipes (Major Losses). [En línea] Octubre del (2000). Disponible en <<http://www.public.iastate.edu/~vishwa/Fluids-lab-related/L8majlossF01.pdf>>

[2] UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID: Mecánica de Fluidos. [En Línea]. (Consultado el 10 de junio del 2009). Disponible en <[http://www.ucm.es/info/catmosf/docencia/mecanica2/fluidos\\_4.PDF](http://www.ucm.es/info/catmosf/docencia/mecanica2/fluidos_4.PDF)>

[3] BIRD, Byron; STEWART, Warren; LIGHTFOOT, Edwin: Fenómenos de Transporte. España: Ed. reverte. 1982. Pagina. 3-40.

[4] GONZALES, Cristian; FERNÁNDEZ Marcos: Mecánica de Fluidos Visualización de flujo laminar y turbulento. [En Línea]. Disponible en <[http://web.uniovi.es/Areas/Mecanica.Fluidos/docencia/asignaturas/mecanica\\_de\\_fluidos\\_minas/lp4.pdf](http://web.uniovi.es/Areas/Mecanica.Fluidos/docencia/asignaturas/mecanica_de_fluidos_minas/lp4.pdf)>

|   |   |                      |              |
|---|---|----------------------|--------------|
|  | <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b><br><b>LABORATORIO DE FENÓMENOS TRA. II</b> | <b>FECHA</b>         | <b>GRUPO</b> |
| <b>MANUAL DE PROCEDIMIENTOS</b>   |   | <b>PRÁCTICA N° 2</b> |              |
| <b>ELABORÓ:</b>   |   | <b>REVISÓ:</b>       |              |
| <b>TITULO: DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR</b>            |   |                      |              |

### 1. OBJETIVO GENERAL

- ◆ Aplicar los principios básicos de transferencia de calor para determinar el coeficiente de transferencia de calor ( $U$ ) de un serpentín.

### 2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ◆ Familiarizar al estudiante con métodos de transferencia de calor alternativos, tales como el serpentín.
- ◆ Aplicar conocimientos adquiridos referentes a los procesos de transferencia de calor y termodinámica.
- ◆ Evaluar las pérdidas caloríficas por convección y radiación ( $Q_p$ ) el coeficiente global de transferencia de calor ( $U$ ), así como las pérdidas másicas por evaporación ( $M_e$ ).
- ◆ Ver el efecto de la convección forzada y la transferencia de calor del serpentín en la masa de agua del tanque.

### 3. MOTIVACIÓN

*Figura 1. Batería de Calentamiento*



### 4. PREGUNTAS GUÍA

1. ¿Cómo cree usted que se maneja la batería de calor para poder determinar el calor intercambiado?
  2. ¿Qué variables cree que se tengan que medir?
  3. ¿Cómo se determina la cantidad de calor intercambiado al tanque hasta el momento en que se obtiene la temperatura de 80 °C?
  4. ¿La masa de agua evaporada por que se tiene en cuenta, y con cual formula se determina?
  5. ¿Qué expresión matemática me permite calcular el coeficiente global de transferencia calor?
  6. ¿Para qué se dispone de una trampa de vapor en la tubería de salida del serpentín?
  7. ¿Qué tipo de transporte de calor por convección se presentan?
  8. ¿En qué situaciones se presenta convección libre?
5. ¿Si tenemos una batería de intercambio de calor con agitación y otra si esta, cual obtendrá una mayor temperatura en el fondo del tanque y por qué?

## 6. FUNDAMENTO TEÓRICO

Los procesos de intercambio de calor son indispensables en una gran cantidad de procesos, cuantificar esta energía permite optimizar procesos por medio de acciones que se ejercen sobre los equipos con el fin de obtener mejores materias primas o obtener las mismas pero con menos requerimientos energéticos lo cual se traduce en un menor costo monetario, párrafo que evidencia la razón del estudio de la transferencia de calor, Los balances energéticos son encontrados en un sin fin de procesos como la destilación por ejemplo.

No es posible la medición directa de la energía que se trasfiere como flujo calórico pero la relación entre este fenómeno y la temperatura, la cual es una cantidad medible, que permite llegar a una serie de información que de algún modo permite cuantificar los fenómenos de transferencia de calor, así una primera conexión entre calor y temperatura la proporciona la ley cero de la termodinámica la cual establece que cuando un sistema hay una diferencia de temperaturas, el calor fluye de la región de mayor a la de menor temperatura. En esta práctica se usa agua como material de estudio debido a disponibilidad de datos para poder realizar sus cálculos.

### 6.1. Los mecanismos para el transporte de energía como calor fundamentales son:

#### Conducción convención y radiación

La conducción es el mecanismo que permite la transferencia de energía en forma de calor a través de un medio, cuando existe una diferencia de temperatura. El calor se cuantifica empleando la ley de Fourier.

La convección consiste en la transferencia de calor en un flujo en movimiento, cuando existe una diferencia de temperatura. Puede ser libre o forzada: libre cuando el movimiento es ocasionado por fuerzas internas y forzada, cuando el

movimiento es causado por un agente externo (bombas, compresores, etc.). Una expresión para este calor es la propuesta por la ley de enfriamiento de Newton.

La radiación es la transmisión de calor de un cuerpo a otro pero sin que exista contacto entre ellos esta ocurre por movimientos ondulatorios.

En realidad la distribución de temperaturas en un medio se controla por los efectos combinados de estas tres formas de transferencia de calor; por lo tanto no es realmente posible aislar por completo una forma de las interacciones de las otras. Sin embargo, en muchos casos se puede considerar despreciable uno o más mecanismos de transferencia. [1]

## **6.2. Transferencia de energía en una batería de calentamiento**

En los procesos de transferencia de calor los cambios de temperatura y la rapidez de dichos cambios son en cierta medida la manifestación de la eficiencia de un proceso de intercambio energético, lo que implica una necesidad imperativa de caracterizar el sistema. Para tal propósito se realizan los balances de materia y energía para facilitar los balances se tienen en cuenta las siguientes suposiciones:

- los caudales de los fluidos son constantes
- las propiedades térmicas de los fluidos permanecen constantes durante el proceso
- mezclado perfecto en los procesos que implique agitación e inexistente en ausencia de ella.
- los cambios de fase se realizan a presión constante. [2]

## **6.3. Especificaciones y descripción del equipo**

Los componentes principales de la batería de calentamiento son; un tanque de acero inoxidable con un serpentín interno de cobre una fuente de agitación además hacen parte de la batería algunos instrumentos para la medición de propiedades del fluido que se encuentra circulando a través de las tuberías.

Tanque: cilindro vertical cuyo fondo no es completamente plano y tiene una capacidad de 50 litros

Serpentín: constituye unos de los medios más económicos de transferencia de calor; son generalmente hechos mediante el enrollamiento de tubos de cobre o acero mediante diferentes formas, el intercambio de calor es debida al contacto permanente con el líquido depositado en el tanque.

Longitud serpentín: 15,45 m

Material: cobre

Diámetro interno: 5/16"

Diámetro externo: 3/8"

[3]

#### **6.4. Balances formulas y valores**

Balance energía:

Calor generado por el medio de calentamiento = calor recibido por el agua

Lo cual se da únicamente en teoría; las pérdidas de convección y radiación afectan esta igualdad.

Calor suministrado por el serpentín:

$$Q_s = mc C_{pv} (T_v - T_c) + (mc^* \Delta H_c)$$

*Ecuación 1*

Donde:

mc: Masa condensado;  $T_v$ : Temperatura vapor;  $T_c$ : Temperatura condensado;

$\Delta H_c$ : Calor de condensación,  $C_{pv}$ : Capacidad calorífica agua como vapor

Calor recibido por el tanque:

$$Q_t = m_t C_{pl} (\delta t)$$

*Ecuación 2*

mt: Masa tanque;  $C_{pl}$ : Capacidad calorífica como líquido;  $\delta t$ : Cambio temperatura en el tanque.

### Calor de pérdidas

$$Q_p = Q_s - Q_t \quad \text{Ecuación 3}$$

### Perdidas por evaporación:

$$Q_v = m_v \cdot \Delta H_v \quad \text{Ecuación 4}$$

$m_v$ : Masa evaporada;  $\Delta H_v$ : Calor de vaporización.

Adicionalmente, para calcular el coeficiente de transferencia de calor para el serpentín se proponen las siguientes relaciones.

$$U = Q_s / (A \cdot \delta t) \quad \text{Ecuación 5}$$

A: Área del serpentín;  $\delta t$ : Diferencia de temperatura. [2]

$$\Delta H_v = 2211,6 \text{ Kj/Kg. [2]}$$

$$\Delta H_c = 2317,3 \text{ Kj/Kg [2]}$$

$$C_{pv} = 4,18 \text{ Kj/Kg } ^\circ\text{C [3]}$$

$$C_{pl} = 2,08 \text{ Kj/Kg } ^\circ\text{C}$$

## **7. MATERIALES**

- ◆ Batería de intercambio de calor.
- ◆ Agitador mecánico
- ◆ Probetas
- ◆ Cronómetros

## **8. PROCEDIMIENTO**

### **8.1. Sistema de calentamiento con serpentín sin agitación:**

- Llenar el tanque con un volumen aproximado de 50 litros.
- Manipular la válvula de vapor para el serpentín de tal forma que se mantenga a una presión constante. esta presión será aproximadamente 15 psi.
- Esperar a que se regule el consumo de vapor. esto sucede cuando 1 indicador de temperatura se registra 30 °C aproximadamente. a partir de ese momento se empezara a medir el tiempo de experimentación la temperatura a la entrada y salida del tanque la temperatura después de la trampa y el volumen de condensado recogido.
- Tomar los valores de temperatura con que el vapor entra en el sistema de calentamiento usado y la temperatura del condensado.
- Mantener la temperatura en el tanque en 80 °C durante media hora abriendo y cerrando la válvula de vapor.
- Agregar agua con una probeta graduada midiendo con sumo cuidado el volumen que se debe adicionar hasta completar el nivel inicial. esto se hará para saber la cantidad de agua que se ha evaporado.

## **8.2. Sistema de calentamiento con serpentín agitación mecánica.**

- Llenar el tanque con un volumen aproximado de 50 litros.
- Conectar el agitador de hélice y manipular la válvula de vapor para el serpentín de tal forma que se mantenga una presión constante. esta será aproximadamente de 15 psi.
- Esperar a que se regule el consumo de de vapor. esto sucede cuando en el indicador de temperatura del tanque se registran 30 °C aproximadamente. medir el tiempo de experimentación, las temperaturas y el volumen de condensado, dichas variables se medirán en intervalos de 5 °C hasta llegar a los 80°C.
- Tomar los valores de temperatura con que el vapor entra en el sistema de calentamiento usado y la temperatura del condensado.
- Mantener la temperatura en el tanque en 80 °C durante 45 minutos, abriendo y cerrando la válvula de vapor.

- Agregar agua con una probeta graduada, midiendo con sumo cuidado el volumen que se debe adicionar hasta completar el nivel inicial.

## 9. RESULTADOS

### 9.1. Proceso con serpentín y sin agitación:


- Determinar coeficiente de transferencia de calor y calor de perdidas hasta el momento en el cual se alcanza 80 °C. Analice.
- Determinar coeficiente de transferencia de calor y el calor de perdidas y el calor de perdidas por evaporación para el proceso isotérmico a 80 °C. Analice.

### 9.2. Proceso con serpentín y con agitación:

- Determinar coeficiente de transferencia de calor y calor de perdidas hasta el momento en el cual se alcanza 80 °C. Analice.
- Determinar coeficiente de transferencia de calor y el calor de perdidas y el calor de perdidas por evaporación para el proceso isotérmico a 80 °C.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] UNIVERSIDAD ARTURO PRAT: Mecanismo de Transferencia de Calor.[En Línea]. Disponible en <  
[http://www.unap.cl/metadot/index.pl?id=27501&isa=Item&field\\_name=item\\_attachment\\_file&op=download\\_file](http://www.unap.cl/metadot/index.pl?id=27501&isa=Item&field_name=item_attachment_file&op=download_file)>
- [2] SÁNCHEZ, Ojeda; ORTIZ, Gustavo: Estudio de la Batería de Calentamiento. Bucaramanga. 1998.
- [3] JARAMILLO, Carlos; ORDÓÑEZ, Carlos: Batería de Calentamiento. Bucaramanga. 2002.
- [4] Guevara, Sixto: Diseño Del sistema de Calentamiento del Sistema solar De Agua.[En Línea]. Disponible en<  
<http://www.cepis.org.pe/bvsacd/cosude/xix.pdf>> Lima. 2003.

|   |  |              |              |
|---|--|--------------|--------------|
|  | <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b><br><b>LABORATORIO DE FENÓMENOS DE TRA. II</b> | <b>FECHA</b> | <b>GRUPO</b> |
| <b>MANUAL DE PROCEDIMIENTOS</b>   | <b>PRÁCTICA N° 3</b>   |              |              |
| <b>ELABORÓ:</b>   | <b>REVISÓ:</b>   |              |              |
| <b>TÍTULO: ETAPAS DEL PROCESO DE FLUIDIZACIÓN</b>                                 |  |              |              |

### 1. OBJETIVO GENERAL

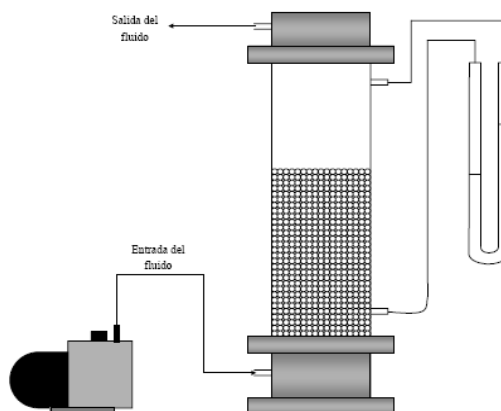
- ◆ Estudiar del fenómeno de fluidización y las variables que intervienen en dicho proceso.

### 2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ◆ Determinar las características físicas: masa, densidad aparente, volumen, porosidad y esfericidad del maíz (zea mays).
- ◆ Determinar la velocidad mínima de fluidización para un lecho de partículas solidas determinado.
- ◆ Estudiar el comportamiento de la caída de presión, la expansión y la altura de un lecho de partículas solidas, frente al aumento de la velocidad superficial del fluido de trabajo.

### 3. MOTIVACIÓN

*Figura 1. Torre empacada con maíz.*



#### 4. PREGUNTAS GUÍAS

1. ¿Cómo caracterizaría un lecho fijo?
2. ¿Por qué cree que utilizamos maíz pira como relleno de la torre?
3. ¿Qué características determinan que un lecho esta fluidizado?
4. ¿Qué es, para que sirven y cómo se determina la porosidad y esfericidad de un lecho?
5. ¿Cómo es el empaquetamiento del material granular en las paredes a comparación con el material que se encuentra en el centro de la torre?
6. ¿Cuáles son las condiciones observables en la que se puede decir que en este momento la velocidad es la velocidad mínima de fluidización?
7. ¿En qué momento hablamos de arrastre total?
8. ¿Qué cree que sucedería con la caída de presión en la torre durante la operación de esta?
9. ¿Pueden calcularse las caídas de presión de un lecho fijo y de un lecho fluidizado mediante la misma ecuación? ¿Por qué?
10. ¿Cómo cree que se obtiene la ecuación que me permite calcular la velocidad mínima de fluidización, que aproximaciones se pueden tener en cuenta?

#### 5. FUNDAMENTO TEÓRICO

En varias operaciones tecnológicas a menudo es necesario tener un material granular en contacto íntimo con un fluido (líquido) como lo es lavado o lixiviación de partículas solidas, absorción e intercambio iónico, reacciones catalíticas heterogéneas entre otras.[2] Esto se puede efectuar de varias maneras. En el caso más simple, el fluido se hace atravesar un lecho de partículas que no cambian de posición, es decir, no se mueven una respecto a la otra ni respecto al envase. Se le conoce como lecho fijo.

Con el aumento de la velocidad del aire, la caída de presión a través del lecho también aumenta. Cuando la fricción de arrastre de las partículas se iguala a la fuerza de peso del lecho. Esta condición se denomina fluidización mínima y velocidad de fluidización mínima. En este estado el lecho de partículas logra características similares a las de un líquido y se llama estrato fluidizado. La fluidización también se conoce como lecho prefluidizado, y se trata de un estado de transición entre el lecho fijo y el fluidizado propiamente. [3]

Una torre fluidizada consiste en una columna vertical llena del material granular y un fluido (líquido) que se bombea hacia arriba a través de un distribuidor. Cuando la fuerza de fricción del fluido provocada por la pérdida de carga de éste, se iguala al peso de las partículas, todas las partículas se encuentran suspendidas sobre el flujo. El lecho comienza a fluidizar y aunque se comporta como un fluido, sólo se está realizando un mezclado moderado de partículas. En este estado el lecho de partículas se denomina lecho fluidizado. [3]

En el punto de fluidización el volumen del lecho es mayor que el volumen del lecho fijo, por esta condición se le denomina lecho que se amplía. Con un aumento de la velocidad superficial del fluido el lecho continuará ampliándose, la altura de ésta aumentará, mientras que la concentración de las partículas por el volumen unitario del lecho disminuirá. A cierta velocidad superficial del medio fluidizado, las partículas comenzarán a ser transportadas por el fluido, lo que se denomina arrastre y la velocidad que lo genera velocidad de arrastre. Así una torre fluidizada se puede definir como un sistema que contiene las partículas sólidas, a través de las cuales pasa un fluido con una velocidad superior que la velocidad de fluidización mínima, pero bajo la velocidad de arrastre. [3]

### **5.1. Material fluidizado**

Un material fluidizable es granular y puede ser monodisperso (todas las partículas del mismo tamaño) o polidisperso (mezcla de partículas de varios tamaños). Los

tamaños de partículas polidispersas se determina generalmente por medio de un promedio de diámetros de una muestra de la población.

El comportamiento de las partículas en el fluido depende no solamente de su tamaño, sino además de su peso específico y forma. La forma de las partículas es expresada por el factor de forma y la esfericidad, entre otros.[3]

### **5.1.1. El comportamiento de un lecho está caracterizado por las siguientes magnitudes:**

#### **5.1.1.1. Masa.**

Para la cual se toma una muestra de tres granos de la población se pesan en una balanza de precisión de 0,01 gramo y se promedia el valor. [3]

#### **5.1.1.2. Densidad aparente.**

Se utilizó una probeta graduada, agregando el producto hasta un determinado volumen en la probeta y pesando la cantidad de maíz usado para obtener este volumen en la probeta.[3]

#### **5.1.1.3. Porosidad.**

Es la relación que existe por el espacio de aire entre las partículas y el volumen total del lecho. Se determinó en una probeta en la cual se depositó determinada cantidad de material y se peso. Luego se agrega agua destilada hasta el mismo nivel de los granos, obteniéndose así el volumen de agua, el cual se divide por el volumen del maíz en la probeta, se representara con la letra ( $\epsilon$ ) (si se utiliza una probeta para esta medición realizarla con una probeta de igual diámetro al de la torre).[3]

$$\epsilon = \text{volumen agua agregada} / \text{volumen maíz}$$

*Ecuación 1*

#### 5.1.1.4. Esfericidad.

A partir de la esfericidad se puede determinar la proximidad de cada uno de los productos a la esfera que la circunscribe. Con este objetivo se mide el diámetro del material en sus tres ejes (x, y, z) con la ayuda de un calibrador se calculó la esfericidad, según:[3]

$$\phi = (D_x * D_y * D_z)^{1/3} / D_z \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$\Phi$ : esfericidad.

$D_x, D_y, D_z$ : diámetros del fruto en los ejes x, y, z.

$D_z$  corresponde al mayor de los diámetros determinados.

#### 5.1.1.5. Volumen.

A partir de los diámetros característicos se determinó el volumen promedio del grano.[3]

$$v = (\pi/6) (D_x * D_y * D_z) \quad \text{Ecuación 3}$$

#### 5.1.1.6. Densidad absoluta.

Se determina como el cociente de la masa de un grano de maíz y el volumen de un grano. [3]

$$P = m / (\pi/6) (D_x * D_y * D_z) \quad \text{Ecuación 4}$$

#### 5.1.1.7. Altura del lecho en función de la porosidad.

A medida que vamos aumentando la rata de flujo del liquido en la torre el lecho se va expansionando con lo cual aumenta su porosidad; si mantenemos el área transversal de la torre constante encontraremos que la porosidad será función directa de la altura del lecho, este comportamiento lo podemos representar con la siguiente ecuación.[3]

$$Z_2 = (z_1 * (1 - \epsilon_1)) / (1 - \epsilon_2) \quad \text{Ecuación 5}$$

#### 5.1.1.8. Velocidad Mínima de fluidización.[4]

$$\frac{1.75}{\Phi * \varepsilon_{Mf}^3} \cdot \left[ \frac{d_p * V_{Mf} * \rho_g}{\mu} \right]^2 + \frac{150 * (1 - \varepsilon_{Mf})}{\Phi^2 * \varepsilon_{Mf}^3} * \left[ \frac{d_p * V_{Mf} * \rho_g}{\mu} \right]$$
$$= \frac{d_p^3 * \rho_g * (\rho_s - \rho_g) * g}{\mu^2}$$

*Ecuación 6*

## 6. EQUIPOS Y MATERIALES

- ◆ Columna rellena con partículas esféricas de maíz
- ◆ Manómetros
- ◆ Llave de alta
- ◆ Cronometro
- ◆ Probeta
- ◆ Calibrador
- ◆ Balanza

## 7. PROCEDIMIENTO

Utilizaremos agua como fluido para la realización del análisis de las etapas de proceso de fluidización y maíz como partícula de relleno.

### 7.1. Caracterización partícula:

#### 7.1.1. Tamaño de partícula:

- Efectuar un tamizado acorde con el tamaño de la partícula para separar impurezas y partículas defectuosas.
- Con ayuda de un calibrador se determina los diámetros ( $D_x$ ,  $D_y$ ,  $D_z$ ) de la partícula tomando la dimensión más grande como  $D_z$ .

### 7.1.2. Porosidad del lecho estático:

- En un recipiente de volumen calibrado se adiciona una cantidad determinada de lecho  $V_t$
- Se pesa la muestra  $m_t$
- Se agrega agua hasta el nivel del lecho.
- Se pesa la muestra con el agua ( $m_1$ )
- $m_1 - m_t = m_a$
- $m_a = \rho_a * V_a$  entonces  $V_a = m_a / \rho_a$
- $V_a = V_{\text{agua}} = V_{\text{aire}}$
- conocido  $V_t$  y  $V_a$  aplicamos la siguiente ecuación.  
$$\varepsilon_m = V_a / V_t$$

### 7.2. Acondicionamiento del sistema:

- Retirar la manguera que está conectada al manómetro 1 ( $m_1$ ).
- Retirar los tornillos que sujetan la tapa superior de la torre y se coloca en un lugar estable.
- Se retira el lecho inclinando el sistema hasta un punto tal donde las partículas se deslizan a lo largo de esta para ser depositados en un recipiente.
- Introducir las partículas que conforman el nuevo lecho.
- Ajustar tornillos de la tapa superior de tal forma que no se presenten fugas.
- Conectar la manguera anteriormente desconectada  $m_1$ .

### 7.3. Operación del sistema:


- Abrir llave de entrada a la torre hasta la mitad manteniendo la llave de suministro de agua a alta presión cerrada.
- Inundar la torre abriendo suavemente la calcula de alta presión.
- Cuando se humedezcan las partículas y este inundada la torre se cierra la llave para dar inicio la práctica.
- La válvula de suministro de agua a alta presión se abre gradualmente y en cada apertura de llave se mide caídas de presión estáticas altura del lecho y caudal.
- Este procedimiento se hace partiendo de lecho estático pasando por la condición de fluidización mínima hasta la condición final de arrastre.

## 8. RESULTADOS

- Obtener la curva de porosidad vs altura del lecho. Analice.
- Identificar los valores de la velocidad y porosidad mínima de fluidización y velocidad final de arrastre.
- Representar  $\Delta p$  vs  $v_o$  y  $h$  vs  $v_o$ .
- Comparar el resultado experimental de velocidad mínima de fluidización con el valor encontrado con alguna expresión teórica.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID: Fluidización. [En línea]. Disponible en <[http://www.uam.es/personal\\_pdi/ciencias/mgilarra/Fluid/Fluidizacion%202006-07.pdf](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/Fluid/Fluidizacion%202006-07.pdf)>
- [2] VENTILEX; Lecho Fluido, Nederland. [En Línea]. Consultado en <[http://www.ventilex.net/pdf\\_files/Ventilex%20Fluid%20Bed%20Dryer%20Español%20Brochure%20June%202003.pdf](http://www.ventilex.net/pdf_files/Ventilex%20Fluid%20Bed%20Dryer%20Español%20Brochure%20June%202003.pdf)>
- [3] RODRIGO, Moraga; "Proyecto Profesional Presentado a la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Concepción, Fluidizador de Lecho de Partículas consultada el 23/09/09 disponible en <[http://www.bibliodigital.udec.cl/sdx/udec/tesis/2006/flores\\_h/doc/flores\\_h.pdf](http://www.bibliodigital.udec.cl/sdx/udec/tesis/2006/flores_h/doc/flores_h.pdf)>
- [4] SÁNCHEZ, Huertas: Principios y Bases de fluidización. Capítulo 3. Universidad de Puebla [En Línea]. Disponible en <[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lim/sanchez\\_h\\_a/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/sanchez_h_a/capitulo3.pdf)>

|  |  |                      |              |
|--|--|----------------------|--------------|
|                                 | <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b><br><b>LABORATORIO DE FENÓMENOS DE TRA. II</b> | <b>FECHA</b>         | <b>GRUPO</b> |
| <b>MANUAL DE PROCEDIMIENTOS</b>  |  | <b>PRÁCTICA Nº 4</b> |              |
| <b>ELABORO:</b>  |  | <b>REVISO:</b>       |              |
| <b>TITULO: DETERMINACIÓN DE UNA CORRELACIÓN PARA LA CAÍDA DE PRESIÓN EN LAS TORRES EMPACADAS DEL LABORATORIO</b> |  |                      |              |

### 1. OBJETIVO GENERAL

- ◆ Obtener una correlación de la caída de presión en las torres empacadas del laboratorio en función de la velocidad del aire y el caudal del agua.

### 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ◆ Analizar la influencia del flujo de aire en la velocidad del agua que atraviesa la torre.
- ◆ Observar el cambio en la caída de presión en cada torre variando el caudal del agua.
- ◆ Observar la influencia de la geometría y el tamaño del material de relleno en la caída de presión

### 3. MOTIVACIÓN

*Figura 1. Columnas empacadas del laboratorio Ingeniería Química.*



#### **4. PREGUNTAS GUÍA**

1. ¿Qué es una torre empacada, cuales aplicabilidades conoce de una torre empacada?
2. ¿Existirán diferencias cuando se opera una torre de enfriamiento a cocorriente o en contracorriente?
3. ¿Qué función desempeña el material de empaque o relleno?, es importante la relación diámetro columna con el diámetro del empaque ¿Por qué?
4. ¿Qué factores influyen en el diseño y operación de una torre empacada?
5. ¿Qué variables cree que influyen en la caída de presión de una torre?
6. ¿Con que instrumento podemos medir la velocidad del aire?
7. ¿Cuándo una torre esta canalizada a que se refiere?
8. ¿Cree usted que el tipo de empaque afecte en la caída de presión de una torre? ¿Por qué?
9. ¿Cree usted que el tamaño de empaque afecte en la caída de presión de una torre? ¿Por qué?

#### **5. FUNDAMENTO TEÓRICO**

Las torres empacadas van muy ligadas a la industria hablar de procesos de enfriamiento, de absorción, inmediatamente se asocia a una torre empacada es de ahí que se resalta la importancia de sus estudio, específicamente las torres de enfriamiento de agua son de gran importancia en las refinerías y en la industria química, ya que es necesario retirarle algo de calor al agua manejada, para un posterior uso en condensadores o intercambiadores de calor.

## **5.1. Descripción del equipo**

Las torres empacadas son columnas llenas de material que proporcionan mayor área de superficie para facilitar el contacto entre el líquido y el gas. Estas torres pueden tener caídas de presión alta además tiene alto potencial de obstrucción y ensuciamiento.

El equipo consiste en una columna cilíndrica equipada con una entrada de gas y espacio de distribución en la parte inferior y una entrada de líquido y un distribuidor en la parte superior; salidas para el gas y el líquido cabeza y cola respectivamente, y una masa soportada de cuerpos sólidos inertes que reciben el nombre de relleno de la torre.[1]

## **5.2. Especificaciones de la torre.**

### **5.2.1. Cuerpo de la torre**

Una torre empacada básicamente consta de una envoltura de la columna, eliminadores de rocío, distribuidores del líquido, material de empaque y puede incluir un retenedor de empaque.

La envoltura de la torre puede estar hecha de acero o plástico o una combinación de estos materiales dependiendo de la corrosividad de las corrientes del gas y del líquido, o de las condiciones de operación.[1]

Si las condiciones de operación son muy agresivas se pueden utilizar aleaciones que sean resistentes tanto a la temperatura como a sustancias químicas o también se pueden utilizar múltiples capas de diferentes materiales menos caros.

### **5.2.2. Empaque**

La función del empaque es maximizar el área disponible para la transferencia de masa, pero para que su funcionamiento sea adecuado este debe ser

inerte. Los materiales de empaque se encuentran en variedad de formas, cada una teniendo características específicas con respecto al área de superficie, caída de presión, resistencia a la corrosión, peso y costo.

Dentro de sus características principales se encuentran:

- Proporcionar una superficie interracial grande entre el líquido y el gas.
- Debe tener características deseables de flujo de fluido es decir, tener suficientes espacios vacíos en el lecho empacado.
- Ser químicamente inerte con respecto a los fluidos de la operación y además estructuralmente fuertes para facilitar la movilidad del equipo.
- Debe tener bajo precio

Los empaques se pueden dividir en al azar y estructurados, los primeros son descargados dentro de la columna de absorción dejándolos asentar sin importar si ordenamiento actualmente los empaques al azar modernos son diseñados con el propósito de minimizar la caída de presión y maximizar el contacto. Los estructurados pueden ser empaque a la zar conectados en un arreglo ordenado, cuadrículas, mallas, etc., usualmente tienen menores caídas de presión pero son más costosos.[1]

### **5.2.3. Distribuidor de líquido**

Debe estar diseñado para mejorar el lecho de empaque uniformemente además debe resistir taponamiento y ensuciamiento y proporcionar espacio libre para el flujo de gas permitiendo la flexibilidad de la operación. Generalmente las torres de gran tamaño poseen un redistribuidor de líquido para recolectar el líquido en la pared de la columna y regresar el mismo al centro de la torre.[1]

### **5.3. Condiciones de operación.**

Con el fin de mantener el flujo ascendente del gas la presión en el domo debe ser menor a la del fondo. Este es uno de los factores más importantes en el diseño de las torres empacadas debido a que el flujo descendente de líquido ocupas los mismos canales que el flujo ascendente de gas.

La caída de presión es función de de las razones de flujo del gas y del liquido, también de las propiedades de los materiales de empaque tales como superficie y volumen libre en la torre.[1]

### **5.4. Variables a manejar**

→Flujos de entrada y salida de aire, los cuales son regulados por sus respectivas válvulas y reóstato.

→Tiempo.

### **5.5. Anemómetro.**

Del griego, anemos, viento; metron, medida, el anemómetro es un instrumento que mide tanto la velocidad y la dirección del viento como su persistencia. Los anemómetros miden la velocidad instantánea del viento, pero las ráfagas (fluctuaciones habituales del viento) se producen con tal frecuencia que restan interés a dicha medición, por lo que se toma siempre un valor medio en intervalos de 10 minutos.

Normalmente, el anemómetro está provisto de una veleta para detectar la dirección del viento. En lugar de cazoletas el anemómetro puede estar equipado con hélices, aunque no es lo habitual. Otros tipos de anemómetros incluyen ultrasonidos o anemómetros provistos de láser que detectan el desfase del sonido o la luz coherente reflejada por las moléculas de aire.

El anemómetro de rotación está dotado de cazoletas (Robinson) o hélices unidas a un eje central cuyo giro, proporcional a la velocidad del viento, es registrado convenientemente; en los anemómetros magnéticos, dicho giro activa un diminuto generador eléctrico que facilita una medida precisa. [2]

## **6. MATERIALES**

- ◆ Probeta de 500 ml
- ◆ Cronometro
- ◆ Anemómetro

## **7. PROCEDIMIENTO:**

### **7.1. Operación torre empacada con flujo de aire en ausencia de flujo líquido:**

- Comprobar que la válvula de entrada de agua a la torre se encuentre cerrada y se procede a abrir la válvula de suministro de aire a la torre.
- Encender la torre y posiciona en le regulador en el primer punto de referencia (20).
- Con ayuda del anemómetro tomar la velocidad del aire en la parte superior de la torre.
- Hacer lectura de la caída de presión en la torre.
- Cambiar de posición el regulador a 30, 40 y 60 repitiendo para cada posición la toma de datos de los dos puntos 3 y 4.
- Apagar torre y cerrar válvula del aire.

### **7.2. Operación torre empacada con flujo de agua en ausencia de flujo de gas:**

- Comprobar que la válvula de suministro de aires se encuentre cerrada.
- Abrir válvula de suministro de agua a la torre.
- Posicionar el rotámetro en la marcación de 40.

- Esperar un tiempo prudencial y con ayuda de la probeta de 500 ml y el cronometro determinar el caudal del agua para el punto de referencia marcado.
- Cambiar el rotámetro a las posiciones de 80 120 160 y 200 repitiendo la toma de datos del numeral anterior.
- Cerrar válvulas de suministro de agua.

### **7.3. Operación de la torre con flujo de agua y aire combinado:**


- Abrir válvula de agua y posicionar rotámetro en punto de referencia 40.
- Abrir válvula aire y posicionar regulador de voltaje en 20.
- Prender la torre.
- Hacer lecturas de caída de presión.
- Tomar volúmenes de agua recogida en determinado tiempo y determinar el caudal.
- Manteniendo el rotámetro en 40 variar el regulador en 30, 40 y 60 repitiendo los pasos 3,4 y 5.
- Cambiar punto de referencia del rotámetro a 80 120 160 y 200 variando para cada posición del rotámetro el punto de referencia del regulador en 20, 30, 40 y 60 haciendo el mismo procedimiento de los puntos 3, 4 y 5.
- Apagar torre y cerrar válvulas de aire y líquido.

## **8. RESULTADOS**

- Realizar graficas de puntos de referencia paraca cada torre tanto para el rotámetro como para el regulador de voltaje. Analice.
- Realizar grafica de caída de presión para cada torre y determinar la correlación  $\Delta p=f(q, v_a)$ . Analice.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

- [1] GÓMEZ, Sergio; ORTIZ Diana: determinación de una correlación para la caída de presión en las torres del laboratorio. Bucaramanga. 2006.
- [2] UNIVERSIDAD DE OVIEDO; Seminario de Mecánica de Fluidos; Anemómetro. Tercer curso. 2008.

|   |  |                      |              |
|---|--|----------------------|--------------|
|    | <b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b><br><b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b><br><b>LABORATORIO DE FENÓMENOS DE TRA. II</b> | <b>FECHA</b>         | <b>GRUPO</b> |
| <b>MANUAL DE PROCEDIMIENTOS</b>   |  | <b>PRÁCTICA Nº 5</b> |              |
| <b>ELABORÓ:</b>   |  | <b>REVISÓ:</b>       |              |
| <b>TITULO: SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA ALETA APLICANDO LA HERRAMIENTA FEMLAB</b> |  |                      |              |

### 1. OBJETIVO GENERAL:

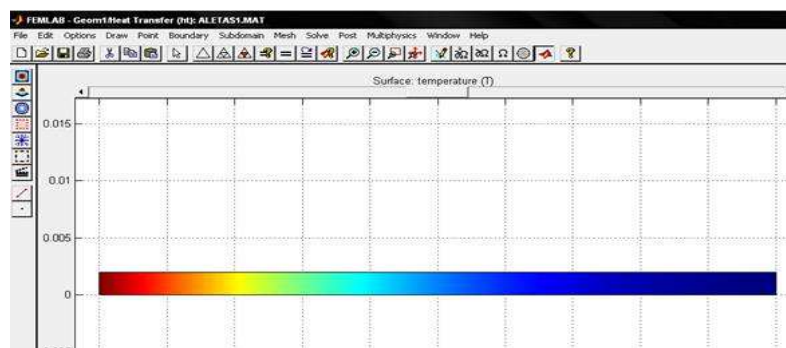
- ◆ Simular la transferencia de calor en una aleta en dos distintos problemas con ayuda de FEMLab.

### 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ◆ Conocer las diversas aplicaciones de las aletas en la transferencia de calor.
- ◆ Aplicar balances de elementos de aletas para poder simular toda la aleta.
- ◆ Determinar la temperatura alcanzada al extremo de una aleta cuando su otro extremo se encuentra a una temperatura constante.
- ◆ Determina la longitud necesaria de una aleta para obtener determinada temperatura al final de aleta.

### 3. MOTIVACIÓN

*Figura 1. Aleta simulada en FEMLab*



#### **4. PREGUNTAS GUÍA**

1. ¿Qué aplicabilidad tiene las aletas en la transferencia de calor?
2. ¿Qué es FEMLAB y cuál es su utilidad?
3. ¿Para obtener la máxima velocidad de transferencia de calor es necesaria una aleta infinitamente larga?
4. ¿Por medio de qué ley se expresa el término convectivo del balance de energía?
5. ¿Cuál sería el balance de calor en un elemento de aleta?
6. ¿Qué condiciones de contorno cree que sean necesarias establecer para encontrar la temperatura al extremo de una aleta?
7. ¿Qué tipos de aletas conoce usted que existan?
8. ¿En su diario vivir donde puede encontrar disipadores de calor como las aletas?

#### **5. FUNDAMENTO TEÓRICO**

Las Aletas tienen un extenso campo de aplicaciones en problemas de transmisión de calor, desde radiadores de automóviles o equipos de aire acondicionado, hasta los elementos combustibles de reactores nucleares refrigerados por gases, o los elementos de absorción y disipación de energía en vehículos espaciales, o los equipos de refrigeración y calentamiento en la industria química, etc. [1]

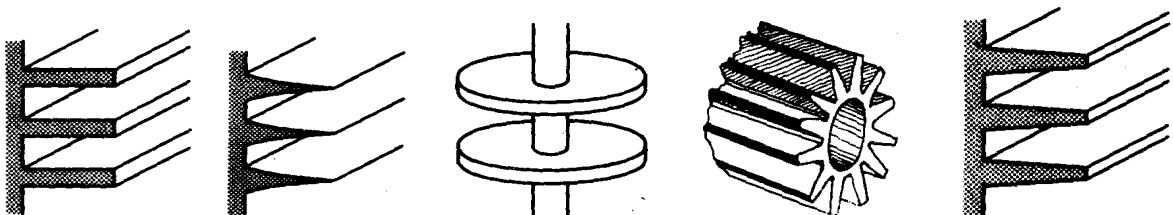
En esta experiencia se busca determinar la temperatura de una aleta al final de esta, conociendo el largo de la aleta, la longitud de la aleta el coeficiente de convección, la conductividad de la aleta y la temperatura a la que se mantiene la pared inicial y la temperatura del exterior.

Se usan las aletas o superficies extendidas con el fin de incrementar la razón de transferencia de calor de una superficie, en efecto las aletas convexas a

una superficie aumenta el área total disponible para la transferencia de calor. En el análisis y diseño de una superficie con aleta, la cantidad de energía calorífica disipada por una sola aleta de un tipo geométrico dado, se determina auxiliándonos del gradiente de temperatura y el área transversal disponible para el flujo de calor en la base de la aleta. Entonces, el número total de aletas necesarias para disipar una cantidad de calor dada se determinara en base a la acumulación de transferencia de calor. La ecuación diferencial que describe la distribución de temperatura en una aleta resulta de un equilibrio de energía en una sección elemental de la aleta que es tanto conductora, como apta para la convección, a la vez. Puesto que un elemento de volumen elemental cualquiera experimenta tanto conducción como convección el problema es en realidad multidimensional.

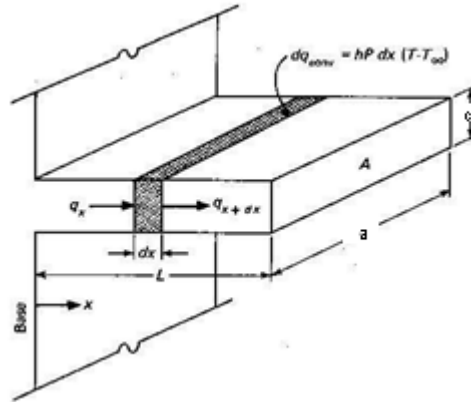
Usualmente se usa una superficie con aletas cuando el fluido convectivo participante es un gas, ya que los coeficientes convectivos de transferencia de calor para un gas son usualmente menores que los de un liquido. Como ejemplo de una superficie con aletas se tienen los cilindros de la máquina de una motocicleta, y los calentadores caseros. Cuando se debe disipar energía calorífica de un vehículo espacial, donde no existe convección, se usan superficies con aletas que radian energía calorífica. Las aletas pueden ser con secciones transversales rectangulares, como tiras que se anexan a lo largo de un tubo, se les llama *aletas longitudinales*; o bien discos anulares concéntricos alrededor de un tubo, se les llama *aletas circunferenciales*. El espesor de las aletas puede ser uniforme o variable.[2][3]

Figura 1. (Tipos de aletas).[2][3]



**5.1. Balance elemento de aleta:**

Figura 2. (Balance de un elemento de aleta). [4]



**5.1.1. Balance unidimensional:**

**5.1.2. Realizamos un balance en estado estacionario:**

$$q_x \cdot a \cdot c - q_{x+\Delta x} \cdot a \cdot c - h (T - T_f) \cdot 2a \cdot \Delta x = 0 \quad \text{Ecuación 1}$$

$$((q_x \cdot a \cdot c - q_{x+\Delta x} \cdot a \cdot c) / \Delta x) - 2h (T - T_f) \cdot 2a \cdot \Delta x = 0 \quad \text{Ecuación 2}$$

Utilizando Fourier:

$$Q = -K \cdot \frac{dT}{dx} \quad \text{(Ecu. 3)} \quad C \cdot \frac{dq}{dx} = 2h \cdot (T_f - T) \quad \text{(Ecu. 4)} \quad \frac{dq}{dx} = -k \cdot \frac{d^2T}{dx^2} \quad \text{(Ecu. 5)}$$

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{2h}{CK} \cdot (T - T_f) \quad \text{(Ecu. 6)} \quad \theta = \frac{T - T_f}{T_w - T_f} \quad \text{(Ecu. 7)} \quad \delta = \frac{X}{L} \quad \text{(Ecu. 8)}$$

Despejando de 7:

$$T = \theta(T_w - T_f) + T_f \quad \text{Ecuación 9}$$

Derivando:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{d[\theta(T_w - T_f) + T_f]}{d\delta L} = \frac{d\theta}{L d\delta} (T_w - T_f) \quad \text{Ecuación 10}$$

$$\frac{d}{dx} \left[ \frac{dT}{dx} \right] = \frac{d}{L d\delta} \left[ \frac{d\theta}{L d\delta} (T_w - T_f) \right] = \frac{d^2\theta}{L^2 d\delta^2} (T_w - T_f) \quad \text{Ecuación 11}$$

$$\frac{d}{dx} \left[ \frac{dT}{dx} \right] = \frac{d}{L d\delta} \left[ \frac{d\theta}{L d\delta} (T_w - T_f) \right] = \frac{d^2\theta}{L^2 d\delta^2} (T_w - T_f) \frac{d^2T}{dx^2} = \frac{d^2\theta}{L^2 d\delta^2} (T_w - T_f) = \frac{2h}{CK} * (T - T_f)$$

Ecuación (12)

$$\frac{d^2\theta}{d\delta^2} = \frac{2L^2 h}{CK} \left( \frac{T - T_f}{T_w - T_f} \right) \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:  $N = \sqrt{\frac{2L^2 h}{CK}}$  Ecuación 14 y  $\theta = \frac{T - T_f}{T_w - T_f}$  Ecuación 15

$$\frac{d^2T}{d\delta^2} = N^2 * \theta \quad \text{Ecuación 16}$$

$$\frac{d^2T}{d\delta^2} - N^2 * \theta = 0 \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde la solución de esta ecuación está dada por:

$$\theta = C_1 e^{N\delta} + C_2 e^{-N\delta} \quad \text{Ecuación 18}$$

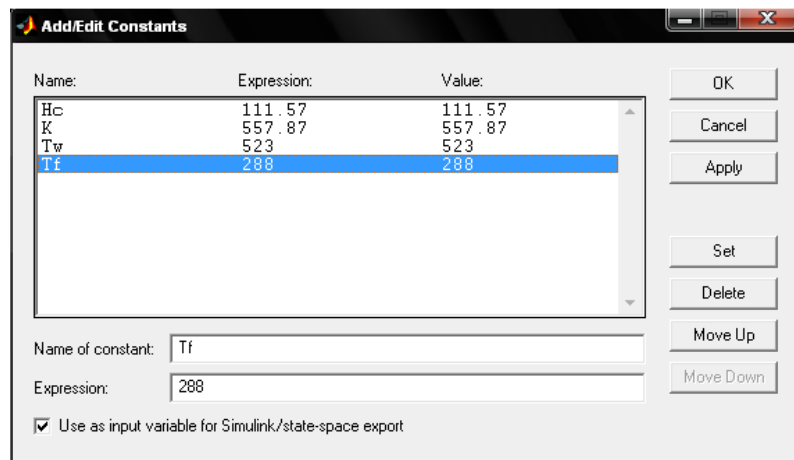
## 6. PROCEDIMIENTO

### 6.1. Determinar la temperatura al final de la aleta conociendo la longitud

Determinar la temperatura en el extremo libre de una aleta cuando un extremo de esta se encuentra a una temperatura fija a 523 kelvin, la temperatura en el exterior es 15 °C, el coeficiente de convección es 111,57 W/m<sup>2</sup>\*K, la conductividad del material es de 557,87 W/m\*K y finalmente las dimensiones de la aleta son (5 cm de largo y 2 mm de grosor).[5]

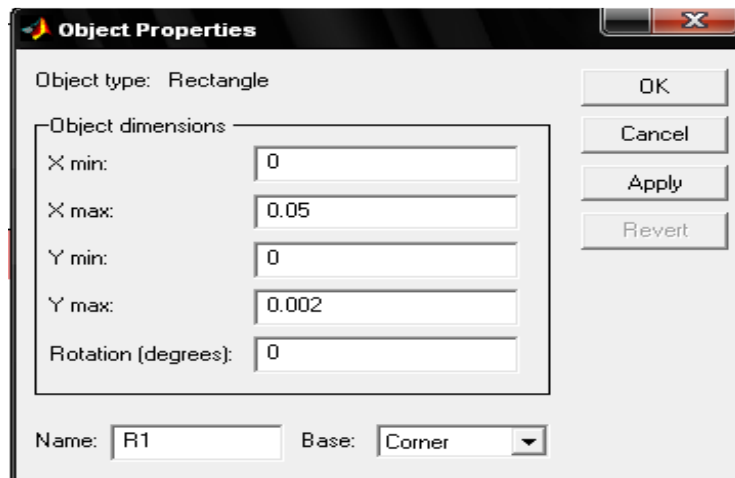
- Abrir FEMLab, en la ventana inicial “Multiphysics” seleccionamos la opción “Heat Transfer”, → “add” y verificar que en la pestaña SOLVER TYPE que se encuentre en “non linear stationary”.
- En la ventana principal vamos a la pestaña “Options” → “add/edit constants” → y definimos el nombre de cada constant y su valor → “add”:

*Fig. 3 Ventana para añadir constantes*



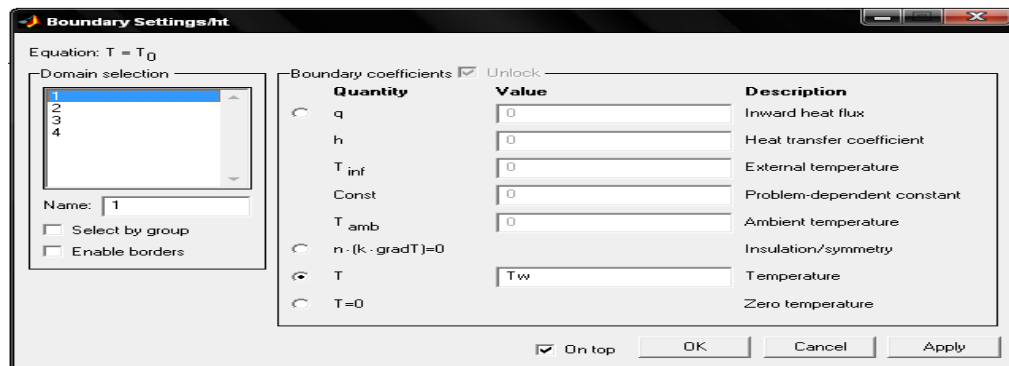
- “Draw mode” → “rectangle/square” → se procede a dibujar un rectángulo que corresponde a la aleta bajo una vista frontal.
- Doble click sobre el rectángulo y se define la longitud de la aleta y su grosor dándole valores así:

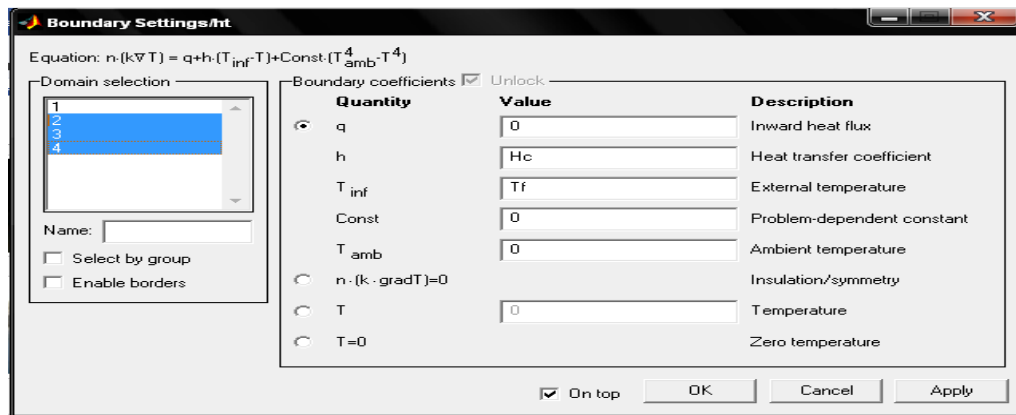
*Fig.4 Ventana propiedades aleta*



- Seguidamente en “Boundary” → “ Boundary Settings” se define las condiciones de cada frontera así:

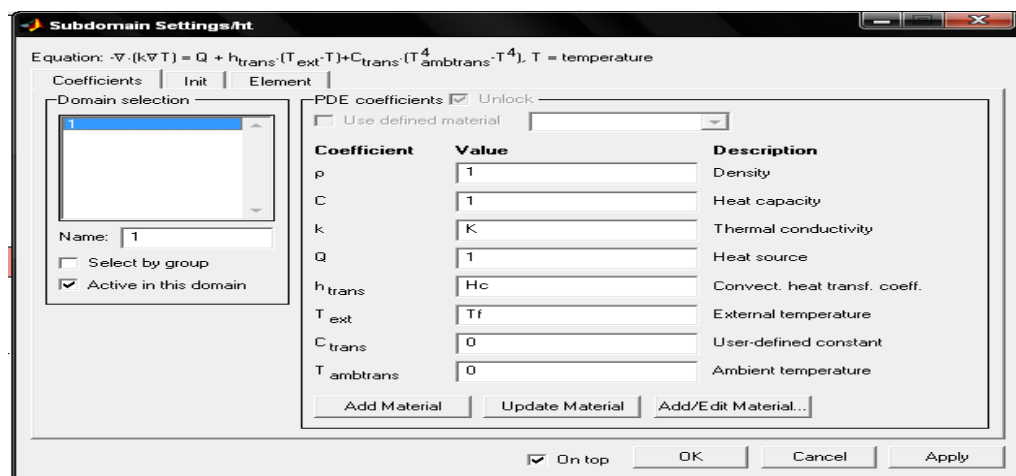
*Fig. 5 y 6 Ventana para especificar extremos de la barra*





- Seguidamente en “subdomain” → “subdomain settings” se definen las propiedades del material así :

*Fig. 7 Subdomain: ventana para agregar conductividad*



- Seguidamente ir a “mesh” → “refine mesh” → ok
- Finalizar con “Solve problem”, se procede a ir a “2D surface plot” y leer la temperatura mínima.
- En la paleta izquierda escoger “Draw line for cross-section line plot” y estirar la línea a lo largo Del rectángulo para graficar la distribución de la temperatura respecto a la longitud.

- Determinar el calor transferido ir a “post” →”plot parameters” →”surface” →”surface expression” →”heat flux” →”ok”.

## **6.2. Determinar la longitud de la aleta conociendo la temperatura final**

Determinar el largo de una aleta de grosor de 2 mm sabiendo que un extremo de la aleta se encuentra a 523 kelvin, la temperatura en el exterior es 15 °C el coeficiente de convección es 111,57 W/m<sup>2</sup>\*K, la conductividad del material es de 557,87 W/m\*K y finalmente la temperatura que se desea obtener en el otro extremo es 274 K.

- Repetir el procedimiento anterior variando las longitudes de la aleta de forma iterativa hasta cuando se alcance las condiciones de temperatura al final de la aleta.

## **7. RESULTADOS**

- Determinar el valor de la temperatura al extremo libre de la aleta cuando se tiene una aleta con las mismas condiciones que las expuestas en el primer procedimiento por medio de balances de energía en un elemento de la aleta.
- Determinar el valor del grosor de una aleta por medio de balances de energía sabiendo que los datos necesarios son los establecidos en el Segundo procedimiento.
- Comparar los valores obtenidos por FEMlab y los calculados que puede inferir acerca de los resultados.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

- [1] UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA: Caracterización y Optimización de las Aletas Rectas y Rectangulares. Capitulo 3. [En Línea]. (Consultado 17 septiembre 2009). Disponible en<

<http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/180/4/Cap%C3%ADulo%203.pdf>>

- [2] CORNWELL, Keith: Tráferencia de Calor. Editorial Limusa. 1890.
- [3] KARLEKAR, B; DESMOND, R: Tráferencia de calor. Editorial Limusa. 1894.
- [4] BIRD, Byron; STEWART, Warren; LIGHTFOOT, Edwin: Fenómenos de Transporte. España: Ed. reverté. 1982. P 9-27
- [5] ULISES, Lacoa; curso de fenómenos de transporte II consultado (25/09/09) disponible en <http://mipagina.cantv.net/ulacoa/bienvenidotf2241.htm>