



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR
SEMICONTINUO PARA LA OBTENCIÓN DE ACETATO DE
SODIO”**

TESIS DE GRADO

**Previa la obtención del Título de:
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTADO POR:

**JORGE FERNANDO ALDÁS ARIAS
GABRIEL ALEJANDRO VIVAR OBREGÓN**

RIOBAMBA – ECUADOR

-2014-

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres Jorge Aldás y Alicia Arias por inculcarme buenos valores, por su apoyo para culminar una etapa más de mi vida, a mi padre por sus consejos, a mi madre por su inagotable lucha por sacarnos adelante, gracias por enseñarme que jamás debes rendirte.

A Elizabeth Abarca, por ser el soporte para lograr todos mis sueños y por estar allí en los buenos y malos momentos brindándome tu apoyo, eres maravillosa.

Fernando

DEDICATORIA

Esta tesis me gustaría dedicar a mi familia.

A mi madre Noemí por su amor y comprensión e incondicional apoyo en la adversidad y en la felicidad, por darme ese ejemplo de madre responsable y honesta, por brindarme la mejor educación y valores, por todo eso madrecita eres el motivo de mi superación, lo mas importante de mi vida, gracias por ser la mejor mamá del mundo.

Para mis tías Jenny, Vilma y Rosy por todo el cariño, el amor, la paciencia y la dedicación que me han brindado y ser una segunda madre para mi.

Para mi novia Sandra por su comprensión, motivación y amor que ha hecho más fácil esta etapa terminada de mi vida, sin tu apoyo no lo hubiese logrado.

Muchas gracias a ustedes.

Gabriel

A mi hermosa madre por ser una guerrera, por su esfuerzo, por hacerme una persona de bien, por dejar impregnado ese espíritu de lucha en mí, te amo viejita.

Dedicado a Klever Arias y Marcela Sánchez mi escuela, mi apoyo mi ejemplo a seguir sin ustedes este sueño no hubiese sido posible, estaré siempre agradecido.

Fernando

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. César Ávalos
DECANO FACULTAD DE CIENCIAS

Ing. Mario Villacrés
DIRECTOR ESC. ING. QUÍMICA

Ing. Mario Villacrés
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Marco Chuiza
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Eduardo Tenelema
**DIRECTOR CENTRO DE
DOCUMENTACIÓN**

NOTA DE TESIS

“Nosotros, JORGE FERNANDO ALDÁS ARIAS Y GABRIEL ALEJANDRO VIVAR OBREGÓN, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

JORGE FERNANDO ALDÁS ARIAS

GABRIEL ALEJANDRO VIVAR OBREGÓN

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

C_A, C_i	Concentraciones de entrada y salida respectivamente
D_a	Diámetro del Rodete
D_C	Diámetro de la Cámara de Calefacción.
E	Altura del Rodete
F_A	Velocidad Molal de Alimentación.
g_c	Gravedad Especifica
h_C	Altura de la Cámara de Calefacción
h_R	Altura del Reactor
K	Constante de Velocidad.
L	Longitud del Rodete
N, n_i	Número de moles de i en el reactor en cualquier instante t .
n	Número de Revoluciones
N_{Fr}	Número de Froude
N_p	Número de Potencia
N_{RE}	Número de Reynolds
P	Potencia del Agitador
Q_e, Q_f	Velocidad del flujo de alimentación y salida respectivamente
r_i	Es la velocidad molal de producción de i .
T	Ancho de la Paleta
t	Tiempo.
V	Volumen
V_C	Volumen de la Cámara de Calefacción
V_{CR}	Volumen del Cilindro del Reactor.
V_o, V_i	Volumen Inicial
V_R	Volumen del Reactor

V_t	Volumen del Cilindro de la Cámara de Calefacción.
W	Altura de la Paleta
X_A, X_B	Conversión de los Reactantes
ρ_f, ρ_e	Densidades de las corrientes de alimentación y de salida.
ϕ	Diámetro del Reactor.
m	Exponente Empírico
g	Gravedad
C_p	Capacidad calorífica de las sustancias.
ΔT	Diferencia de Temperaturas
$m \text{ H}_2\text{O}$	Masa del Agua
$\bar{\theta}, \tau$	Tiempo Espacial.
v_0	Velocidad de Alimentación
μ	Viscosidad Dinámica

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	I
SUMMARY	II
INTRODUCCIÓN	III
ANTECEDENTES	IV
JUSTIFICACIÓN	V
OBJETIVOS	VII

CAPITULO I

1	MARCO TEÓRICO	1
1.1	REACTOR SEMICONTINUO	1
1.2	Reactores Químicos	1
1.2.1	<i>Funciones Principales de un Reactor Químico</i>	1
1.2.2	<i>Clases de Reacciones Químicas Típicas en un Reactor Químico</i>	2
1.2.3	<i>Variables de Proceso</i>	2
1.3	Clasificación de los Reactores	2
1.3.1	<i>Reactores Ideales</i>	3
1.3.2	<i>Reactor discontinuo</i>	4
1.3.3	<i>Reactor semicontinuo</i>	5
1.4	Elección del Reactor	8
1.5	Tipos de Procesos	9
1.5.1	<i>Procesos Discontinuos</i>	9
1.5.2	<i>Procesos Continuos</i>	9
1.5.3	<i>Procesos Semicontinuos</i>	10
1.6	Acetato de Etilo	11
1.6.1	<i>Generalidades</i>	11
1.6.2	<i>Propiedades Físicas y Termodinámicas</i>	11
1.6.3	<i>Uso y Manipulación</i>	12

1.7	Hidróxido de Sodio	12
1.7.1	<i>Generalidades</i>	12
1.7.2	<i>Propiedades Físicas Y Termodinámicas</i>	12
1.7.3	<i>Uso y Manipulación</i>	13
1.8	Acetato de Sodio	13
1.8.1	<i>Generalidades</i>	13
1.8.2	<i>Propiedades Físicas y Termodinámicas</i>	14
1.8.3	<i>Uso y Manipulación</i>	14
1.9	Saponificación	15
1.10	Tanques Agitados	15
1.10.1	<i>Finalidades de la Agitación</i>	16
1.11	Agitadores para tanques cerrados y tanques abiertos de montaje fijo	16
1.12	Tipos de Agitadores	17
1.12.1	<i>Agitadores De Turbina</i>	18
1.13	Consumo de Potencia.....	18
1.14	Baño Termostatizado	19
1.15	Transferencia de Calor en Tanques Agitados	19
1.15.1	<i>Mediante Chaqueta</i>	19
1.15.2	<i>Mediante Serpentín</i>	20
1.15.3	<i>Fenómeno de Agitación y Mezcla</i>	21
1.15.4	<i>Sistemas de Agitación</i>	21
1.16	Tanques Agitados	22
1.17	Tipos de Agitadores	23
1.17.1	<i>Agitadores de Hélice</i>	23
1.17.2	<i>Agitadores de Paletas</i>	24
1.17.3	<i>Agitadores de Turbina</i>	25
1.18	Tipos de flujo en tanques Agitados.....	25
1.19	Formas de evitar remolinos.....	26
1.20	Transferencia de Calor en Tanques Agitados	27
1.20.1	<i>Chaquetas de enfriamiento o calentamiento</i>	28
1.20.2	<i>Serpentines de Tubo</i>	29
1.21	Consideraciones para el Calentamiento y enfriamiento de lotes agitados.....	30
1.22	DISEÑO.....	31

1.23	Ecuaciones de un reactor semilotes en términos de concentraciones	36
1.24	Ecuaciones para un reactor Semicontinuo en términos del número de moles....	37
1.25	Ecuaciones para un reactor Semicontinuo en términos de conversión	38
1.26	Velocidad de reacción.....	40
1.27	Cálculo de la concentración de NaoH en función de la conductividad	41
1.28	Ecuaciones para el diseño del sistema de agitación.....	41
1.28.1	<i>Ecuación para el cálculo del diámetro del rodete</i>	41
1.28.2	<i>Ecuación para el cálculo de la altura del rodete</i>	41
1.28.3	<i>Ecuación para el cálculo de la altura de la paleta</i>	42
1.28.4	<i>Ecuación para el cálculo del ancho de la paleta</i>	42
1.28.5	<i>Cálculo de la potencia del agitador</i>	42

CAPITULO II

2	PARTE EXPERIMENTAL	43
2.1	MÉTODOS	43
2.1.1	<i>EXPERIMENTAL</i>	43
2.1.2	<i>ANÁLISIS</i>	44
2.1.3	<i>SÍNTESIS</i>	44
2.1.4	<i>TÉCNICAS</i>	44
2.1.5	<i>DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS A NIVEL DE LABORATORIO</i>	44
2.1.6	<i>PROCEDIMIENTO</i>	44
2.2	PREPARACIÓN DE LA SOLUCIONES	45
2.3	DATOS ADICIONALES	46

CAPITULO III

3	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	49
3.1	CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL CILINDRO	49
3.2	CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL REACTOR	49
3.3	CÁLCULO DEL DIAMETRO DE LA CÁMARA DE CALEFACCIÓN	49
3.3.1	<i>CÁLCULO DEL ALTURA DE LA CÁMARA DE CALEFACCIÓN</i>	50
3.3.2	<i>CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL CILINDRO DE LA CÁMARA DE CALEFACCIÓN</i>	50
3.3.3	<i>CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA CÁMARA DE CALEFACCIÓN</i>	50

3.4	CÁLCULOS PARA EL SISTEMA DE AGITACIÓN	50
3.4.1	<i>CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL RODETE</i>	50
3.4.2	<i>CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL RODETE</i>	51
3.4.3	<i>CÁLCULO DE LA ALTURA DEL RODETE</i>	51
3.4.4	CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE LAS PALETAS	51
3.5	CÁLCULO DE LA POTENCIA PARA ACCIONAR EL RODETE	51
3.5.1	<i>CÁLCULO DE LA DENSIDAD Y VISCOSIDAD DE LA MEZCLA</i>	51
3.5.2	<i>CÁLCULO DE LAS FRACCIONES MOLARES</i>	52
3.5.3	<i>CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS</i>	52
3.5.4	<i>CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL AGITADOR</i>	52
3.6	CÁLCULO DEL BALANCE DE MASA	54
3.7	CÁLCULO DEL BALANCE DE ENERGÍA	55
3.8	CÁLCULO DE LA CINÉTICA DE REACCIÓN	55
3.9	CONSTANTE TEÓRICA DE VELOCIDAD DE LA SAPONIFICACIÓN DEL ACETATO DE ETILO CON NaOH EN UN REACTOR SEMICONTINUO..	56
3.10	CÁLCULO DE LA CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCIÓN EXPERIMENTAL EN EL REACTOR SEMICONTINUO	56
3.11	CÁLCULO DE LA CONVERSIÓN REAL DEL ACETATO DE ETILO E HIDRÓXIDO DE SODIO A LO LARGO DEL REACTOR.....	59
3.12	CÁLCULO DE LA CONVERSIÓN IDEAL DEL HIDRÓXIDO DE SODIO A LO LARGO DEL REACTOR.....	59
3.13	CÁLCULO DEL TIEMPO ESPACIAL.....	59
3.13.1	<i>CURVA DE CALIBRACIÓN PARA UN REACTOR SEMICONTINUO A 0.1M DE ACETATO DE ETILO E NaOH.</i>	60
3.14	CURVA DE CALIBRACIÓN PARA UN REACTOR SEMICONTINUO A 0.05 M DE ACETATO DE ETILO Y 0.05 M NaOH.	61
3.15	COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN IDEAL CON LA CONCENTRACIÓN REAL.....	62
3.16	RESULTADOS FINALES	65
3.17	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	65
3.18	REQUERIMIENTOS PRESUPUESTARIOS.....	66
3.18.1	<i>RECURSOS HUMANOS</i>	66
3.18.2	<i>MATERIALES</i>	67
3.18.3	<i>ECONÓMICOS</i>	67
3.18.4	<i>PRESUPUESTO</i>	67

CAPITULO IV

4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
4.1	CONCLUSIONES	68
4.2	RECOMENDACIONES.....	69
	BIBLIOGRAFÍA	71
	INTERNET.....	72
	ANEXOS.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES DE HIDRÓXIDO DE SODIO A DIVERSAS CONCENTRACIONES PARA REALIZAR LA CURVA DE CALIBRACIÓN.....	45
Tabla 2-2 PREPARACIÓN DE LOS REACTIVOS (HIDRÓXIDO DE SODIO Y ACETATO DE ETILO).....	45
Tabla 2-3 DATOS ADICIONALES DEL ACETATO DE ETILO	46
Tabla 2-4 DATOS ADICIONALES DEL HIDRÓXIDO DE SODIO.....	46
Tabla 2-5 DATOS ADICIONALES DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA DEL LOS REACTIVOS Y PRODUCTOS UTILIZADOS EN LA PRÁCTICA	47
Tabla 2-6 DATOS ADICIONALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR	47
Tabla 2-7 ANALISIS FISICOS DEL LA SOLUCION DE NaOH 0.1M	47
Tabla 2-8 ANALISIS FISICOS DEL LA SOLUCION ACETATO DE ETILO 0.1M.....	47
Tabla 2-9 DATOS OBTENIDOS SIMULANDO EL PROCESO EN EL LABORATORIO	48
Tabla 3-1 RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR	54
Tabla 3-2 DATOS OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE EN EL REACTOR SEMICONTINUO.....	55
Tabla 3-3 DATOS OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE EN EL REACTOR SEMICONTINUO A 0,5M DE NaOH.....	56
Tabla 3-4 DETERMINACIÓN DE LA CONSTANE DE VELOCIDAD	57
Tabla 3-5 DATOS PARA LA CALIBRACIÓN DE UN REACTOR SEMICONTINUO A 0.1M DE ACETATO DE ETILO E NaOH.....	60
Tabla 3-6 DATOS PARA LA CALIBRACIÓN DE UN REACTOR SEMICONTINUO A 0.1M DE ACETATO DE ETILO Y 0.05 M NaOH.....	61
Tabla 3-7 CONCENTRACION IDEAL EN FUNCIÓN DEL TIEMPO	63
Tabla 3-8 DATOS DE CONCENTRACIÓN REAL EN FUNCION DEL TIEMPO	64
Tabla 3-9 RESULTADO DE LA CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCIÓN	65
Tabla 3-10 RESULTADOS DE CONCENTRACION FINAL DE NaOH Y CONVERSIÓN DE LOS REACTANTES.....	65
Tabla 3-11 REQUERIMIENTO DE RECURSOS HUMANOS	66

Tabla 3-12 REQUERIMIENTO DE RECURSOS PARA MATERIALES	67
Tabla 3-13 REQUERIMIENTO ECONÓMICO TOTAL	67
Tabla 3-14 FUENTE DE FINANCIAMIENTO	67

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 TIPOS DE REACTORES IDEALES: A) REACTOR DISCONTINUO; B) REACTOR DE FLUJO EN PISTÓN; C) REACTOR DE MEZCLA COMPLETA ..	3
Figura 1-2 REACTOR DISCONTINUO.....	5
Figura 1-3 ESQUEMA DE UN REACTOR SEMICONTINUO.....	6
Figura 1-4 DIFERENCIAS DE PRODUCTIVIDAD ENTRE UN PROCESO DISCONTINUO, SEMICONTINUO Y CONTINUO.	7
Figura 1-5 TIPOS DE PROCESOS.....	10
Figura 1-6 ESTRUCTURA DEL ACETATO DE SODIO.....	14
Figura 1-7 MECANISMO DE REACCIÓN PARA LA SAPONIFICACIÓN	15
Figura 1-8 TIPOS DE ASPAS	17
Figura 1-9 RECIPIENTE ENCHAQUETADO.....	20
Figura 1-10 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN PARA PROCESOS DE MEZCLADO.....	21
Figura 1-11 TANQUE CON AGITACIÓN.....	23
Figura 1-12 TIPOS DE SERPENTINES	30
Figura 1-13 REACTOR SEMICONTINUO (DE TIPO TANQUE CON AGITACIÓN).....	31
Figura 1-14 REACTOR SEMILOTE	35
Figura 3-1 TIEMPO VS 1/CA.....	58
Figura 3-2 CURVA DE CALIBRACIÓN CONDUCTIVIDAD VS CONCENTRACIÓN A 0,1M.....	61
Figura 3-3 CURVA DE CALIBRACIÓN CONDUCTIVIDAD VS CONCENTRACIÓN A 0,5 M.....	62
Figura 3-4 CURVA DE CALIBRACIÓN CONDUCTIVIDAD VS CONCENTRACIÓN A 0,1 M.....	63
Figura 3-5 CURVA DE CALIBRACIÓN CONCENTRACIÓN VS TIEMPO A 0,1 M.....	64

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1 BALANCE DE MASA PARA LAS OPERACIONES SEMICONTINUAS	32
Ecuación 1-2 BALANCE EN TÉRMINOS DE LA CONCENTRACIÓN MOLAL C_i DE LA ESPECIE I, DE LA VELOCIDAD DE FLUJO VOLUMÉTRICO Y DEL VOLUMEN DEL REACTOR.....	33
Ecuación 1-3 FLUJO TOTAL	33
Ecuación 1-4 VOLUMEN DEL REACTOR PARA UNA DENSIDAD Y VELOCIDADES DE FLUJO CONSTANTE.....	34
Ecuación 1-5 VOLUMEN EN FUNCION DEL $\bar{\theta}$	34
Ecuación 1-6 VOLUMEN EN FUNCION DEI $\bar{\theta}$	34
Ecuación 1-7 PARA UN REACTOR SEMICONTINUO SIN EXTRACCION	34
Ecuación 1-9 VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN	35
Ecuación 1-10 BALANCE MOLAR DE LA ESPECIE i	35
Ecuación 1-11 VOLUMEN DEL REACTOR EN CUALQUIER INSTANTE.....	36
Ecuación 1-12 BALANCE GLOBAL DE TODAS LAS ESPECIES.....	36
Ecuación 1-13 PARA SISTEMAS ONSTANTES	36
Ecuación 1-14 PARA VOLUMEN CONSTANTE	36
Ecuación 1-15 BALANCE DE A.....	37
Ecuación 1-16 BALANCE MOLAR DE B.....	37
Ecuación 1-17 DIFERENCIAL DE B	37
Ecuación 1-18 CONCENTRACIÓN DE UN SISTEMA POR LOTES	38
Ecuación 1-19 NÚMERO DE MOLES DE A.....	38
Ecuación 1-20 NÚMERO DE MOLES DE B	38
Ecuación 1-21 MOLES DE A EN CUALQUIER INSTANTE.....	38
Ecuación 1-22 INTEGRAL DEL NUMERO DE MOLES DE B.....	39
Ecuación 1-23 VELOCIDAD DE ALIMENTACION CONSTANTE.....	39
Ecuación 1-24 BALNCE DE MOLES DE LA ESPECIE A	39
Ecuación 1-25 LEY DE LA VELOCIDAD	39
Ecuación 1-26 CONCENTRACION DE A.....	40
Ecuación 1-27 CONCENTRACIÓN DE B.....	40
Ecuación 1-28 CONCENTRACIÓN DE C.....	40
Ecuación 1-29 CONCENTRACIÓN DE D.....	40
Ecuación 1-30 CONVERSION EN FUNCIÓN DEL TIEMPO	40
Ecuación 1-31 VELOCIDAD DE REACCIÓN	41
Ecuación 1-32 CONCENTRACIÓN EN FUNCIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD	41
Ecuación 1-33 DIÁMETRO DEL RODETE.....	41
Ecuación 1-34 ALTURA DEL RODETE	41
Ecuación 1-35 ALTURA DE LA PALETA	42
Ecuación 1-36 ANCHO DE LA PALETA	42
Ecuación 1-37 POTENCIA PARA ACCIONAR EL RODETE.....	42

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 FICHA TÉCNICA DEL HIDRÓXIDO DE SODIO	76
Anexo 2 FICHA TÉCNICA DEL ACETATO DE ETILO	77
Anexo 3 FICHA TÉCNICA DEL ACETATO DE SODIO	78
Anexo 4 SIMULADOR DEL REACTOR SEMICONTINUO A ESCALA DE LABORATORIO	79
Anexo 5 REACTOR SEMICONTINUO.....	80
Anexo 6 PLANOS DEL REACTOR SEMICONTINUO.....	81
Anexo 7 PLANOS DEL REACTOR SEMICONTINUO.....	83
Anexo 8 PLANOS DEL REACTOR SEMICONTINUO.....	84

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es el Diseño y Construcción de un Reactor Semicontinuo para la obtención de Acetato de Sodio como complemento práctico de la cátedra de Ingeniería de Reacciones. Este tipo reactor nos ayudará a mantener baja la concentración de uno de los reactivos mediante una válvula de empaques. Se inició la investigación con la revisión de la ecuación diferencial lineal para el diseño del reactor y ensayos a nivel de laboratorio para conocer las variables del mismo.

El reactor fue construido de acero inoxidable grado alimenticio de 2mm de espesor, una altura de 30 cm, diámetro de 20 cm y un volumen de 9,4 litros, un sistema de agitación de tipo paleta accionado por un motor de 0,24 Hp y un sistema de calefacción para temperatura constante.

Su forma de operación inicia cargando el NaOH seguido del encendido del motor de agitación y del sistema de calefacción, al alcanzar una temperatura constante, se inicia la alimentación de acetato de etilo mediante la válvula de empaques, la misma que regula la entrada de este fluido.

En la prueba realizada se inició con un volumen de NaOH de 400ml y un volumen consumido de Acetato de Etilo de 1340ml dando un volumen final de 1740mL de Acetato de Sodio y Etanol con una concentración final del reactivo limitante $C_{\text{ANaOH}} = 0,00332385 \text{ M}$ y una conversión del 86%, que representa la transformación de los reactivos en productos.

El reactor tiene un rendimiento aceptable recomendándose su construcción a escala industrial.

SUMMARY

The aim of this work is the design and construction of a Semi-continuous Reactor for obtaining Sodium Acetate as a practical complement to the Engineering Reactions chair. This Reactor type will help us to keep low the reagents concentration through a packaging valves.

We start the research with reviewing the linear differential equation to the reactor design and trials in laboratory to know the variables of it.

The Reactor was built by stainless steel level 2mm. thick, it height: 30 cm, it diameter 20cm it volume 9,4 liters, an agitation system paddle type driven by a engine 0.24Hp and a heating system for constant temperature.

Its function start to loading the NaOH next to turn on the agitation engine and the heating system, to catch up a constant temperature, we start the Ethyl Acetate feeding by packaging valves it regulates the flow entry.

The test was started on a volume NaOH of 400ml and a consumed volume of Ethyl Acetate 1340ml its give a final volum of 1740ml of Sodium Acetate and Ethanol, with a final concentration of limiting reagent $C_{ANaOH} = 0,00332385$ M and a 86% of conversion, it represents the reagent products transformation.

The Reactor has acceptable performance we recommend its industrial scale construction.

INTRODUCCIÓN

La Ingeniería Química es una disciplina en la cual la experimentación importante razón por la cual muchos de los procesos que involucran reacciones químicas requieren durante su desarrollo de pruebas a nivel de laboratorio. Es por ello, que para el diseño y construcción del reactor Semicontinuo se adaptará su tecnología a escala de laboratorio, se incluirá los cálculos de dimensionamiento para su construcción.

Para un Ingeniero Químico es importante dimensionar equipos que sean eficientes además de realizar la construcción de los mismos para la obtención de un sin número de productos útiles para la industria química.

Todas las personas del ámbito de la química, bien sea ingeniería o la ciencia pura, deberían preguntarse dónde se producen los reactivos que se utilizan a escala de laboratorio y a nivel industrial. Por más inverosímil que sea una reacción química determinada debemos tener en cuenta que todas son posibles, algunas más que otras, tienen una importancia considerable debido a que en algunas el producto generado ofrece algún beneficio con respecto a otro. La respuesta es en un Reactor Químico, el cual se define como un equipo en cuyo interior se desarrolla una reacción química, diseñado con el objeto de maximizar la conversión y la selectividad de la reacción seleccionada con el menor costo posible. Esto hace que los reactores químicos sean sin duda alguna una de las unidades de procesos más importantes en el ámbito de la Ingeniería Química. Para poder comprender su operación y diseño, es necesario contar con conocimientos previos en el área de cinética química. El dominio del diseño de reactores y cinética química son aspectos fundamentales que distinguen un ingeniero químico de cualquier otro en un campo de aplicación determinado. El estudio de reactores se condensa en una rama de la Ingeniería Química denominada "Ingeniería de las Reacciones Químicas", la cual evalúa las reacciones químicas en los reactores a escala industrial. Su objeto de estudio es el diseño y funcionamiento óptimo de las unidades de procesos mencionadas anteriormente. El diseño depende de la cinética química y naturaleza de la reacción, y de la cantidad de producto deseado se quiera generar para determinar su volumen.

ANTECEDENTES

El estudio de los reactores químicos requiere una serie de conocimientos básicos sin los cuales no es posible comprender su funcionamiento, complejidad e importancia para la construcción de equipos y fenómenos que ocurren en estos ha sido de suma importancia en la Ingeniería Química desde la época antigua, aunque en algunos casos los modelos suelen ser complicados pero no es problema para un profesional bien entrenado donde el reto para solucionar todos los problemas generados en la industria química es muy satisfactorio.

El empleo del uso de los reactores a nivel industrial posee su valor primordialmente a la funciones que estos realizan, entre las más preponderante o que toma un mayor peso, es en la capacidad que tiene este equipo de llevar a cabo el cumplimiento de las reacciones químicas logrando de una manera efectiva controlar las variables de proceso tales como presión, temperatura y concentración factores que influyen directamente sobre las reacciones químicas para que los materiales y componentes puedan reaccionar.

JUSTIFICACIÓN

Este trabajo tiene la virtud de diseñar, construir e implementar un Reactor Semicontinuo en la escuela de Ingeniería Química de la ESPOCH permitiendo la innovación en el tipo de reactores utilizados a nivel industrial y tener una mejor visión del funcionamiento correcto de reactores experimentando con el mismo, puesto que nuestra escuela no cuenta con este tipo de reactor necesario para una mejor comprensión de la rama de Ingeniería de las Reacciones Químicas y por ende del diseño de reactores, ya que siempre estarán presentes en cualquier proceso químico junto con las correspondientes etapas físicas que le acompañen; su operación determina frecuente y decisivamente la carga, tamaño y configuración de los equipos y operaciones asociadas de preparación, acondicionamiento y separación en combinación.

Es por ello que hemos creído necesaria la implementación de un reactor semicontinuo para el área del laboratorio de Ingeniería de Reacciones para un mejor desarrollo académico.

OBJETIVOS

GENERAL

- ❖ Diseñar y construir un reactor semicontinuo para la obtención de acetato de sodio.

ESPECÍFICOS

- ❖ Realizar el simulador del proceso a escala de laboratorio para obtener acetato de sodio.
- ❖ Obtener datos experimentales de concentración en función de tiempo.
- ❖ Identificar las variables del diseño del reactor semicontinuo.
- ❖ Efectuar el diseño de ingeniería para el reactor.
- ❖ Validar el diseño de ingeniería una vez construido en tiempo real.

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 REACTOR SEMICONTINUO

Un reactor químico semicontinuo es uno de los más usados en la industria química, debido a que presenta ciertas ventajas que se derivan de la uniformidad de presión, composición y temperatura. Una de ellas es la posibilidad de ser operados en condiciones isotérmicas, aun cuando el calor de reacción sea alto. Esta característica es aprovechada cuando se desea que el reactor opere en intervalos pequeños de temperatura para reducir las reacciones secundarias que podrían degradar al producto o para evitar velocidades desfavorables.

1.2 Reactores Químicos

Un reactor químico es un equipo en cuyo interior tiene lugar una reacción química, estando éste diseñado para maximizar la conversión y selectividad de la misma con el menor coste posible. Si la reacción química es catalizada por una enzima purificada o por el organismo que la contiene, hablamos de biorreactores.

Reactor Químico como el equipo capaz de desarrollar una reacción química en su interior. En su interior ocurre un cambio debido a la reacción química y están diseñados para maximizar la conversión y selectividad de la reacción con el menor costo, tiempo, y mayor eficiencia posibles.

1.2.1 *Funciones Principales de un Reactor Químico*

Las Principales funciones de los Reactores Químicos son:

- Asegurar el tipo de contacto o modo de fluir de los reactantes en el interior del tanque, para conseguir una mezcla deseada con los materiales reactantes.
- Proporcionar el tiempo suficiente de contacto entre las sustancias y con el catalizador, para conseguir la extensión deseada de la reacción.
- Permitir condiciones de presión, temperatura y composición de modo que la reacción tenga lugar en el grado y a la velocidad deseada, atendiendo a los aspectos termodinámicos y cinéticos de la reacción.

1.2.2 Clases de Reacciones Químicas Típicas en un Reactor Químico

- Reacciones Homogéneas: Cuando se afecta solamente una fase, ya sea gaseosa, sólida, o líquida.
- Reacciones Heterogéneas: Cuando se requiere la presencia de al menos dos fases para que tenga lugar la reacción a una velocidad deseada.
- Reacciones Enzimáticas: Utilizan catalizadores biológicos (proteínas con alto peso molecular, con centros activos, y que trabajan a bajas temperaturas)
- Reacciones Catalíticas: Son aquellas reacciones que requieren de una sustancia adicional (que no aparece en el balance global) para modificar la velocidad de reacción; esta sustancia por su mera presencia provoca la reacción química, reacción que de otro modo no ocurriría.
- Reacciones No Catalíticas: Los materiales reactantes no necesitan ninguna sustancia adicional para dar lugar a la reacción química
- Reacciones Auto catalíticas: En esta reacción, uno de los productos formados actúa como catalizador, participando en otra etapa del proceso donde velocidad de reacción es más rápido que en la primera.
- Reacciones Endotérmicas: Son aquellas que adsorben calor del exterior.
- Reacciones Exotérmicas: Son aquellas que liberan calor hacia el exterior.

1.2.3 Variables de Proceso

Las variables clave del proceso son:

- Tiempo de retención (τ)
- Volumen (V)
- Temperatura (T)
- Presión (P)
- Concentración de las especies químicas (C1, C2, C3, ... Cn)

1.3 Clasificación de los Reactores

Según la forma de operación se clasifican en tres tipos:

- ✓ Reactor Discontinuo
- ✓ Reactor Continuo

✓ Reactor Semicontinuo

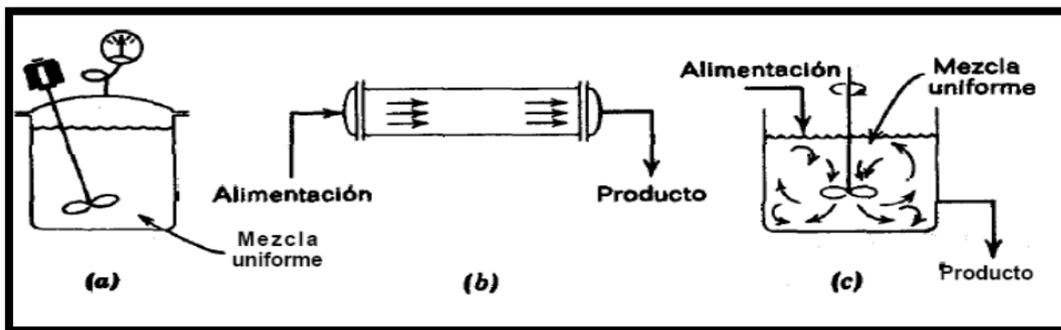
El funcionamiento discontinuo consiste en adicionar los reactivos de una vez en el interior del reactor, esperar el tiempo necesario para que se dé la reacción y vaciar el contenido. Por lo tanto durante el tiempo de operación, propiamente dicho, no entra ni sale ningún flujo de materia del reactor, y por lo tanto la masa total de la mezcla de reacción se mantiene constante.

En el funcionamiento en continuo, por el contrario, entra y sale un flujo de materia de forma continua durante todo el período de operación.

1.3.1 Reactores Ideales

Existen tres tipos de reactores ideales, en la siguiente figura se representa cada uno de ellos:

Figura 1-TIPOS DE REACTORES IDEALES: A) REACTOR DISCONTINUO; B) REACTOR DE FLUJO EN PISTÓN; C) REACTOR DE MEZCLA COMPLETA



Fuente: LEVENSPIEL, Octave

- a) El primero es un reactor discontinuo en donde los reactantes se introducen en el reactor, se mezclan, se deja que reaccionen en un tiempo determinado y finalmente se descarga la mezcla resultante.

Es ésta una operación no estacionaria en la que la composición va variando con el tiempo, aunque en cada instante es uniforme en todos los puntos del reactor.

- b) El primero de los dos reactores ideales de flujo estacionario, es el reactor de flujo en pistón, este reactor se caracteriza porque el flujo del fluido perpendicular a una sección transversal es ordenado, sin que ningún elemento del mismo sobrepase o se mezcle con cualquier otro elemento

situado antes o después de aquél; en realidad, en este reactor puede haber mezcla lateral de fluido, pero nunca ha de existir mezcla o difusión a lo largo de la trayectoria de flujo. La condición necesaria y suficiente para que exista flujo en pistón es que el tiempo de residencia en el reactor sea el mismo para todos los elementos del fluido”.

- c) El otro reactor ideal de flujo estacionario, se denomina reactor de mezcla completa, y como su nombre indica, es el reactor que su contenido está perfectamente agitado y su composición en cada instante es la misma en todos los puntos del reactor. Por consiguiente, la corriente de salida de este reactor tiene la misma composición que la del fluido contenido en el mismo.

1.3.2 Reactor discontinuo

Este tipo de reactor es característico de reacciones en fase líquida. Se trata de un reactor tanque agitado de forma que se puede suponer que la mezcla es perfecta, y por lo tanto, la concentración y temperatura son uniformes en todo el contenido del tanque.

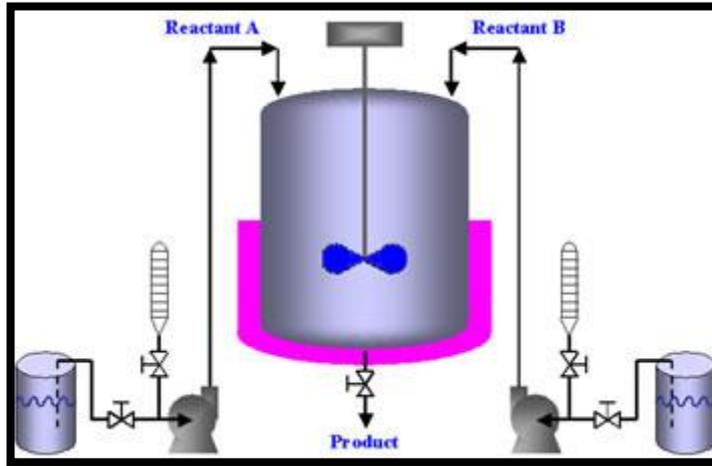
En la mayoría de casos la operación consiste en introducir los reactivos en el recipiente y aumentar la temperatura hasta el nivel deseado (mediante la camisa exterior) para que se dé la reacción. Si se trata de una reacción exotérmica cuando ésta empieza, se debe enfriar el recipiente haciendo circular por la camisa un fluido de enfriamiento.

Generalmente se fija una temperatura de consigna para poder controlar la temperatura de la masa reaccionante. Este tipo de funcionamiento crea múltiples problemas como una cierta dificultad a la reproducibilidad, así como fluctuaciones en la calidad de los productos. La automatización y el control de estos reactores permiten encontrar solución a dichos problemas.

Villiermaux y Georgakis (1991) han realizado un estudio exhaustivo sobre las aplicaciones y problemas que aparecen en este tipo de reactor. Las principales cuestiones que aparecen en el diseño, operación y optimización de estos reactores se discuten en los siguientes apartados. Existen muchísimos trabajos de modelización y simulación de reactores discontinuos, la mayoría de ellos

relacionados con temas de control de la temperatura. Entre ellos cabe destacar los modelos de Marroquin y Luyben (1973), Rao y Parey (1988), y más recientemente Rotstein y Lewin (1992) y Cabassudet al (1994).

Figura 1-2 REACTOR DISCONTINUO



Fuente:<http://colos.inf.um.es/>

1.3.3 Reactor semicontinuo

En la mayoría de reactores químicos, la velocidad de reacción presenta considerables inhomogeneidades con el espacio (reactor tubular) y con el tiempo (reactor discontinuo).

La fuerza conductora de un proceso espontáneo disminuye exponencialmente con el tiempo. La capacidad de enfriamiento y calentamiento debe ser diseñada para el momento en que se dé la máxima producción de calor por la reacción, y por lo tanto es infrutilizada durante la mayor parte de tiempo de proceso.

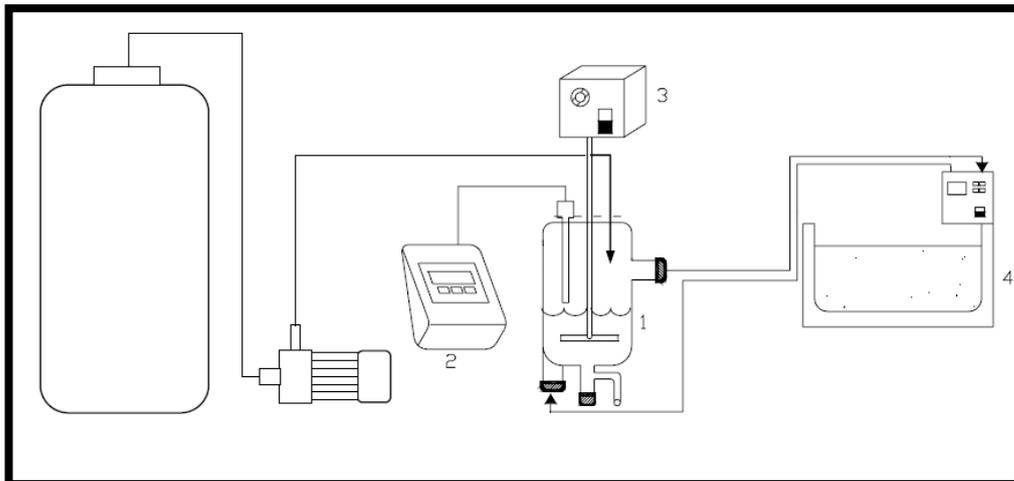
Esta utilización puede ser incrementada aplicando la técnica de un reactor semicontinuo, por ejemplo manteniendo la velocidad de reacción neta constante y manipulando la velocidad de adición de uno de los reactivos. Este sistema permite operar con capacidades de enfriamiento y calentamiento máximas (manteniéndose en una zona segura) y por tanto, incrementar la productividad significativamente. Por este motivo esta técnica es ampliamente utilizada en diversas industrias químicas (principalmente reacciones de fermentación). Por otra parte la mayoría de reacciones industriales son exotérmicas, y por este motivo este sistema está

limitado por la posibilidad de sobredosificación que podría provocar una reacción fuera de control.

En este sentido, el proceso semicontinuo es más seguro que el discontinuo, puesto que en el reactor solamente se encuentra una pequeña cantidad de reactivo no reaccionado en cada instante. Las posibles consecuencias de una reacción fuera de control provocada por la pérdida de agitación o del control de la temperatura, son menos severas que las de un proceso discontinuo.

Se denominan reactores semicontinuos a aquellos en los que inicialmente se carga el reactor como en el caso discontinuo, pero durante la reacción se añaden reactantes o se retiran productos de manera más o menos continua.

Figura 1-3 ESQUEMA DE UN REACTOR SEMICONTINUO

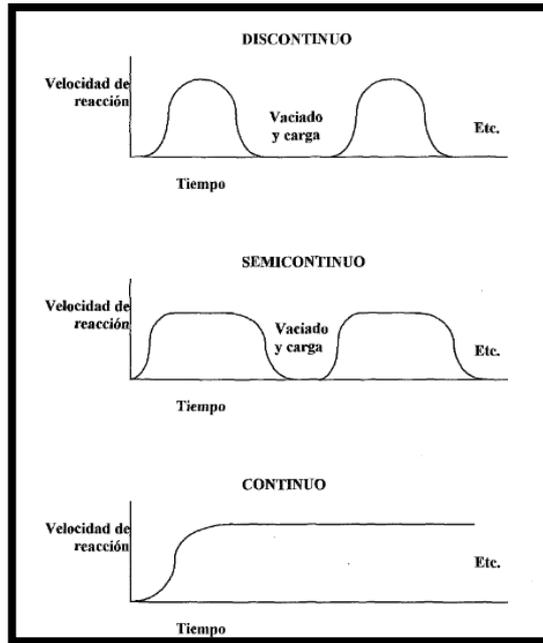


Fuente:Universidad Autónoma de Madrid.

- 1.- Reactor Semicontinuo
- 2.- Ph metro
- 3.- Agitador
- 4.- Baño Termostático

Cuanto más tiempo trabaja el reactor a la máxima velocidad de reacción, mayor es la productividad. Como se observa en la figura, el proceso semicontinuo permite operar más tiempo en estas condiciones, a la vez que disminuye el tiempo muerto de vaciado y llenado, respecto al proceso discontinuo, aproximándose por lo tanto a la productividad del proceso continuo.

Figura1-4 DIFERENCIAS DE PRODUCTIVIDAD ENTRE UN PROCESO DISCONTINUO, SEMICONTINUO Y CONTINUO.



Fuente:González Velasco, J.R. “Cinética Química Aplicada”. Madrid.

La operación semicontinua presenta dos casos:

- Cuando se añade un reactivo A inicialmente al reactor y se añade lentamente el reactivo B al mismo dejando reaccionar por un instante de tiempo, sin extracción del producto hasta que las conversiones para la reacción sean las deseadas. Aquí existen tres variables que podemos usar para formular y resolver problemas de estos tipos de reactores que son: la concentración, el número de moles y la conversión.

Cabe señalar que como el reactor se está llenado el volumen varia con el tiempo y el volumen inicial es el volumen añadido del reactivo a en un tiempo igual a cero y el volumen final será la suma de volumen inicial más el caudal añadido por el reactivo B

- Cuando se añade un reactivo A inicialmente al reactor y se añade lentamente el reactivo B al mismo dejando reaccionar por un instante de tiempo con extracción continúa del producto.

1.3.3.1 Ventajas y Desventajas de un Reactor Semicontinuo

Ventajas

- a) Su operación es semicontinua.
- b) Se puede tener un buen control de la temperatura.
- c) La concentración de uno de los reactantes se puede mantener baja.
- d) El producto deseado se obtiene regulando la concentración de uno de los reactivos.
- e) Una fase del reactor se comporta de forma continua mientras que otra lo hace de forma discontinua.

Desventajas

- a) Costo elevado de operación.
- b) La calidad del producto es más variable que el obtenido en un reactor continuo.
- c) Obtenemos una Producción pequeña.

1.4 Elección del Reactor

Para poder elegir un reactor es conviene realizar un balance técnico-económico completo, teniendo en cuenta factores, tales como:

- ✓ Tipo de Operación
- ✓ Mantenimiento a realizar
- ✓ Mecanismo de reacción
- ✓ Orden de reacción
- ✓ Rutas de reacción en serie o paralelas
- ✓ Reversibilidad

Estos detalles determinarán la temperatura óptima de reacción, tiempo de residencia y mezclado. Como regla general, la reacción deseable incluye:

- ✓ Una alta conversión de los reactantes
- ✓ Alta selectividad del producto deseado
- ✓ Baja selectividad de cualquier subproducto

1.5 Tipos de Procesos

1.5.1 Procesos Discontinuos

Un proceso discontinuo o por lotes se da cuando los reactivos son precargados y se vacían cuando la reacción se ha completado.

La ventaja clave de este tipo de procesos es la flexibilidad. Por eso se utilizan mayoritariamente en la industria química, alimentaria o farmacéutica, donde es muy importante ofrecer una gran variedad de productos e introducir otros nuevos muy rápidamente, ya que estos sectores industriales operan en mercados altamente competitivos. Los equipos de procesos discontinuos se diseñan para manejar un rango de operaciones y productos. La flexibilidad permite manufacturar nuevos productos sin tener que construir una nueva planta o sin tener que hacer grandes cambios de equipo.

Esta flexibilidad también permite producir pequeñas cantidades de un producto sin arriesgar toda la productividad. En los procesos discontinuos una desviación excesiva de la reacción, suele ser difícil de controlar. Por ello, frecuentemente para reacciones exotérmicas y para las de dos fases (gas-líquido) se utiliza una operación semidiscontinua.

En éstas sólo parte de los reactivos son cargados inicialmente y el resto de reactivos y catalizador son añadidos de modo controlado. De este modo, si ocurre una pérdida de control es posible detener la carga de reactivos.

Un proceso discontinuo o por lotes se caracteriza por trabajar en condiciones no estacionarias; es decir, que durante la operación la composición y la generación de calor cambian.

1.5.2 Procesos Continuos

Los procesos continuos se los suele realizar en recipientes agitados, ya sea de modo simple o en cascada, con tuberías de flujo de descarga. En estos sistemas todos los reactivos son continuamente cargados al reactor y los productos son continuamente descargados.

Los procesos continuos se caracterizan por trabajar en condiciones estacionarias, en las que tanto el calor generado como la composición permanecen constantes durante la operación.

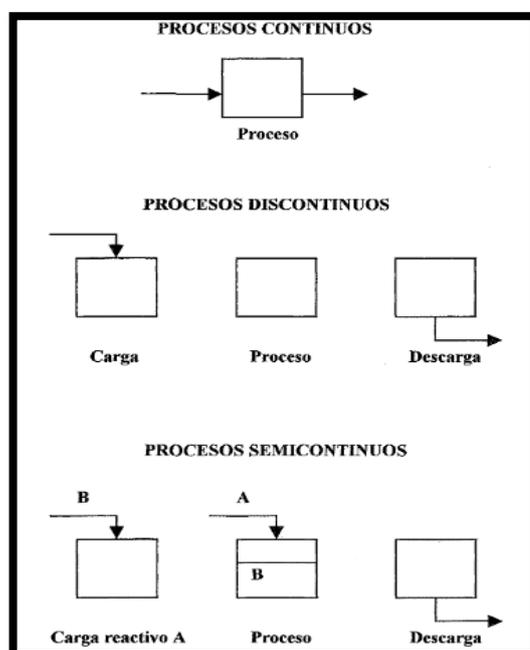
Los procesos continuos tienen una principal ventaja, que es la producción en gran volumen de un producto estándar que generalmente proporciona una buena recuperación del capital invertido, dado que los requerimientos de productos no cambian significativamente el proceso necesitará mínimas modificaciones durante su vida de trabajo para mantenerse competitivo.

1.5.3 Procesos Semicontinuos

Un sistema a medio camino entre los dos anteriores es el funcionamiento en semicontinuo, consistente en introducir un reactivo de forma discontinua (todo de una vez), y añadir el segundo reactivo de forma continua durante el período de reacción. En este caso la masa total de la mezcla de reacción no se mantiene constante.

Según la forma de efectuar la mezcla entre reactivos y productos la clasificación distingue el reactor tanque agitado, en el que la mezcla se puede considerar perfecta en el caso ideal, o el reactor tubular en el que la mezcla es nula (flujo de pistón) en el caso ideal.

Figura1-5 TIPOS DE PROCESOS



Fuente: Levespiel, O. "Ingeniería de las reacciones Químicas".

1.6 Acetato de Etilo

1.6.1 Generalidades

El acetato de etilo es un éster de fórmula $\text{CH}_3\text{-COO-CH}_2\text{-CH}_3$. Su nombre antiguo es éter de vinagre.- El acetato de etilo es un líquido incoloro con olor a frutas, inflamable, menos denso que el agua y ligeramente miscible con ella. Sus vapores son más densos que el aire.

El acetato de etilo es un líquido incoloro, característico de los ésteres, no residual. Es miscible con hidrocarburos, cetonas, alcoholes y éteres y poco soluble en agua.

Se obtiene por destilación lenta de una mezcla de ácido acético, alcohol etílico y ácido sulfúrico, o bien, a partir de acetaldehído anhidro en presencia de etóxido de aluminio.

Se usa en esencias artificiales de frutas, como disolvente de nitrocelulosa, barnices y lacas, en la manufactura de piel artificial, películas, placas fotográficas, seda artificial, perfumes y limpiadores de telas, entre otros.

1.6.2 Propiedades Físicas y Termodinámicas

- ✓ Punto de ebullición: 77 °C
- ✓ Punto de fusión: - 83 °C
- ✓ Índice de refracción: 1.3719 (20 °C)
- ✓ Densidad: 0.902 (20 °C respecto al agua a 4 °C), 0.898 (25 °C respecto al agua a 25 °C).
- ✓ Límites de explosividad (% en volumen en el aire): 2.5-11.5
- ✓ Presión de vapor (mm de Hg): 100 (a 27 °C)
- ✓ Punto de inflamación (Flash point): -4 °C
- ✓ Temperatura de autoignición: 426 °C
- ✓ Solubilidad: 1 ml es miscible con 10 ml de agua (a 25 °C), su solubilidad aumenta al bajar la temperatura. Forma azeótropo con agua (6.1 % peso/peso) con punto de ebullición de 70.4 °C y con etanol y agua (9 % y 7.8 % peso/peso, respectivamente) que ebulle a 70.3°C.
- ✓ Miscible en etanol, acetona, cloroformo y éter

1.6.3 Uso y Manipulación

El acetato de etilo es comúnmente utilizado en esencias naturales de frutas, como solvente de nitrocelulosa, barnices y lacas, en la manufactura de piel artificial, películas y placas fotográficas, seda artificial, perfumes y limpiadores de telas, entre otros.

Para el uso de este producto es necesario un lugar bien ventilado, utilizando bata, lentes de seguridad y, si es necesario, guantes de hule natural o neopreno (no usar PVC), para evitar un contacto prolongado con la piel.

Debe ser almacenado alejado de fuentes de ignición y de luz directa del sol, en un área bien ventilada. Grandes cantidades de este producto deben almacenarse en tanques metálicos conectados a tierra.

1.7 Hidróxido de Sodio

1.7.1 Generalidades

El hidróxido de sodio es un sólido blanco e industrialmente se utiliza como disolución al 50 % por su facilidad de manejo. Es soluble en agua, desprendiéndose calor. Absorbe humedad y dióxido de carbono del aire y es corrosivo de metales y tejidos. Es usado en síntesis, en el tratamiento de celulosa para hacer rayón y celofán, en la elaboración de plásticos, jabones y otros productos de limpieza, entre otros usos.

Se obtiene, principalmente por electrólisis de cloruro de sodio, por reacción de hidróxido de calcio y carbonato de sodio y al tratar sodio metálico con vapor de agua a bajas temperaturas.

1.7.2 Propiedades Físicas Y Termodinámicas

- ✓ Punto de ebullición: 1388°C (a 760 mm de Hg)
- ✓ Punto de fusión: 318.4 °C
- ✓ Índice de refracción a 589.4 nm: 1.433 (a 320 °) y 1.421 (a 420 °C)
- ✓ Presión de vapor: 1mm (739 °C)
- ✓ Densidad: 2.13 g/ml (25 °C)

- ✓ Solubilidad: Soluble en agua, alcoholes y glicerol, insoluble en acetona (aunque reacciona con ella) y éter, 1 g se disuelve en 0.9 ml de agua, 0.3 ml de agua hirviendo, 7.2 ml de alcohol etílico y 4.2 ml de metanol.
- ✓ Ph de disoluciones acuosas (peso/peso): 0.05 %:12; 0.5 %: 13 y 5 %: 14

1.7.3 Uso y Manipulación

El hidróxido de sodio se usa para fabricar jabones, crayón, papel, explosivos, pinturas y productos del petróleo. También se usa en el procesamiento de textiles de algodón, lavandería y blanqueado, revestimiento de óxidos, galvanoplastia y extracción electrolítica. Se encuentra comúnmente en limpiadores de desagües y hornos. Además este producto se usa como desatascador de cañerías.

Para el manejo del NaOH es necesario el uso de lentes de seguridad, bata y guantes de neopreno, nitrilo o vinilo. Siempre debe manejarse en una campana y no deben utilizarse lentes de contacto al trabajar con este compuesto.

En el caso de trasvasar pequeñas cantidades de disoluciones de sosa con pipeta, utilizar una pera, nunca aspirar con la boca.

1.8 Acetato de Sodio

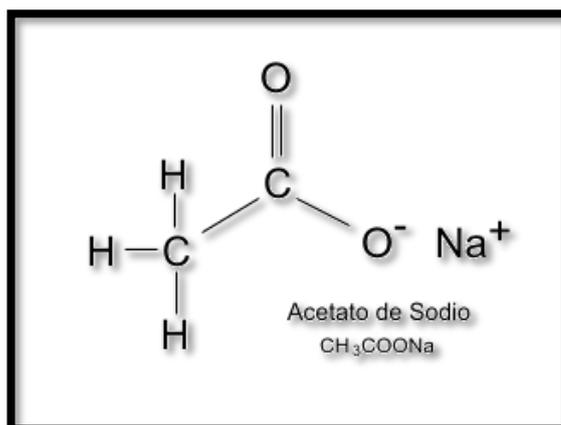
1.8.1 Generalidades

El acetato de sodio, también llamado etanoato de sodio, su fórmula molecular es: $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ es la sal de sodio del ácido acético. Es un producto químico económico producido en cantidades industriales para una amplia gama de usos.

El acetato de sodio es muy económico, y es comúnmente comprado a los distribuidores de productos químicos en vez de ser sintetizado en el laboratorio. Es algunas veces producido en el laboratorio experimentalmente por la reacción del ácido acético con carbonato de sodio, bicarbonato de sodio, o hidróxido de sodio, por nombrar unas pocas bases que contienen sodio.

$\text{CH}_3\text{-COOH} + \text{Na(OH)}$. Para conseguir cantidades industriales. 100 g de Hidróxido de sodio (NaOH) reaccionan con 150 g de ácido acético puro (1875 g de vinagre al 8%), para dar 45 g de agua y 205 g de Acetato de sodio.

Figura1-6 ESTRUCTURA DEL ACETATO DE SODIO



Fuente: GOULD, E.S. "Mecanismos y Estructuras en Química Orgánica".

1.8.2 *Propiedades Físicas y Termodinámicas*

- ✓ Solubilidad en agua: 47 g/ 100 ml.
- ✓ Punto de fusión: 324°C
- ✓ Peso molecular: 82.04
- ✓ Densidad: 1450 kg/m³
- ✓ Punto de Ebullición: 610 K (337 °C)

1.8.3 *Uso y Manipulación*

El acetato de sodio es utilizado en la industria textil para neutralizar las corrientes residuales de ácido sulfúrico, y como foto resistente cuando se usan colorantes de anilina. También se usa como agente de encurtido en el curtido con cromo. Ayuda a retardar la vulcanización del cloropreno en la producción sintética de caucho.

Evitar las llamas y se recomienda protección respiratoria y guantes protectores.

Es posible la exposición de polvo si se encuentra mezclada con el aire en forma pulverulenta o granular. La sustancia se descompone al calentarla intensamente por encima de 120°C o en contacto con ácidos fuertes produciendo ácido acético. La solución en agua es moderadamente básica.

Condiciones que deben evitarse:

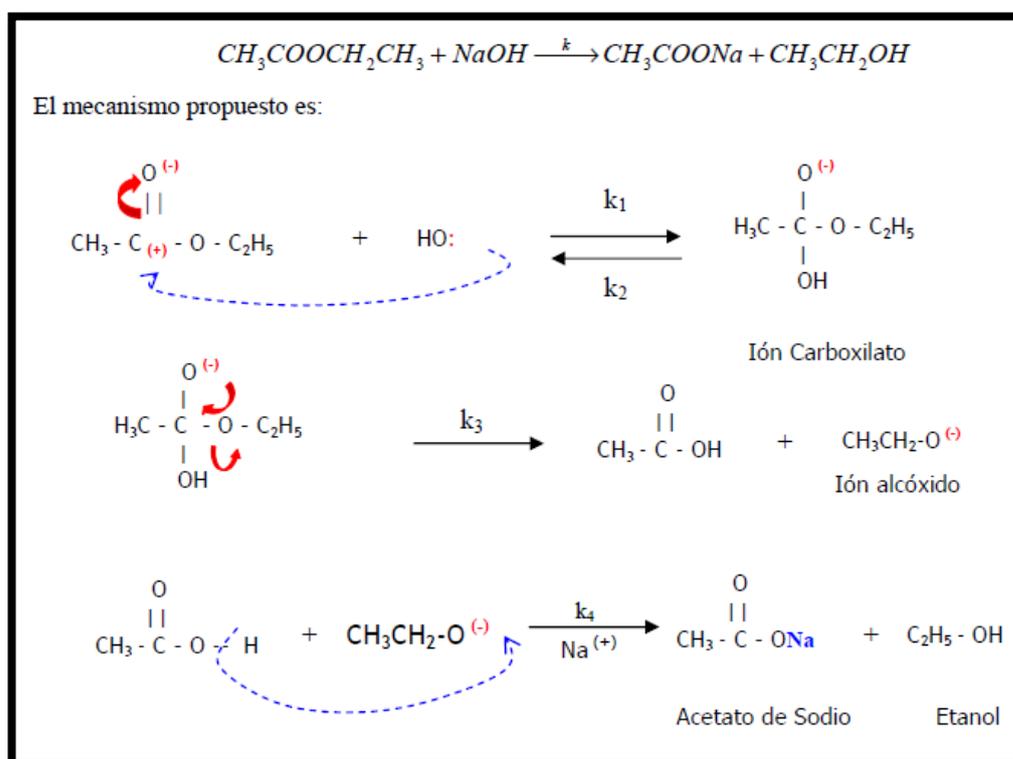
- ✓ Fuentes de calor e ignición.
- ✓ Materiales a evitar: Ácidos fuertes.
- ✓ Productos de descomposición: Ácido acético.

1.9 Saponificación

La saponificación es una reacción química entre un ácido graso (o un lípido saponificable, portador de residuos de ácidos grasos) y una base o alcalino, en la que se obtiene como principal producto la sal de dicho ácido.

Estos compuestos tienen la particularidad de ser anfipáticos, es decir tienen una parte polar y otra apolar (o no polar), con lo cual pueden interactuar con sustancias de propiedades dispares. Por ejemplo, los jabones son sales de ácidos grasos y metales alcalinos que se obtienen mediante este proceso. El método de saponificación en el aspecto industrial consiste en hervir la grasa en grandes calderas, añadiendo lentamente sosa cáustica (NaOH), agitándose continuamente la mezcla hasta que comienza esta a ponerse pastosa.

Figura 1-7 MECANISMO DE REACCIÓN PARA LA SAPONIFICACIÓN



Fuente: BIANCA, T. "Mecanismos de Reacción en Química Orgánica".

1.10 Tanques Agitados

Los tanques agitados o tanques mezcladores son equipos donde se realiza una mezcla de componentes y cuando ocurre una reacción química se llaman reactor químico.

Son generalmente de forma cilíndrica y pueden ser operados por lotes, con recirculación o de flujo continuo.

La agitación se refiere al movimiento inducido de un material en una forma específica, generalmente con un modelo circulatorio dentro de algún tipo de contenedor. La mezcla es una distribución al azar de dos o más fases inicialmente separadas. Un único material homogéneo, tal como un tanque con agua fría, puede ser agitado pero, en cambio, no puede mezclarse mientras no se le adicione otro material, tal como una cierta cantidad de agua caliente o algún sólido pulverulento

1.10.1 Finalidades de la Agitación

Los líquidos se agitan con diversos fines, dependiendo de los objetivos de la etapa del proceso. Dichos fines comprenden:

1. Suspensión de partículas sólidas.
2. Mezclado de líquidos miscibles, por ejemplo, alcohol metílico y agua.
3. Dispersión de un gas en un líquido en forma de pequeñas burbujas.
4. Dispersión de un segundo líquido, inmiscible con el primero, para formar una emulsión o suspensión de gotas diminutas.
5. Promoción de la transformación de calor entre el líquido y un serpentín o encamisado.

1.11 Agitadores para tanques cerrados y tanques abiertos de montaje fijo

Estos tipos de agitadores son recomendados para su aplicación, y todo depende de los requisitos de su proceso. Los hay de acoplados directo, estos están diseñados para aplicaciones de baja viscosidad, o volumen pequeño, o aplicaciones en que se requiere trituramientos del producto. Los agitadores de acoplado de engranaje (caja reductora), son eficientemente usados en productos con más alta viscosidad o aplicaciones con un volumen más elevado.

Estos agitadores varían desde 1/4 a 5 caballos de fuerza (HP), y son disponibles con siete diferentes velocidades, y con una variedad de hélices. Estos agitadores son disponibles ya sea con motor eléctrico, o motores de aire, así como también pueden ser equipados con variador de velocidades.

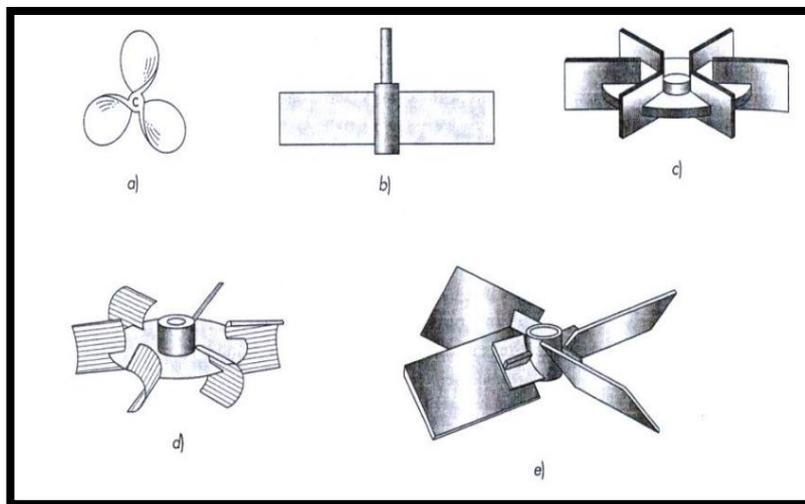
1.12 Tipos de Agitadores

- ✓ Los agitadores de impulsor o rodete se dividen en dos clases.
- ✓ Los que generan corrientes paralelas al eje del impulsor se llaman impulsores de flujo axial
- ✓ Y aquellos que generan corrientes en dirección radial o tangencial se llaman impulsores de flujo radial.

Los principales tipos de impulsores para líquidos de baja a moderada viscosidad son las hélices y turbinas.

Para líquidos muy viscosos, los impulsores más adecuados son los de hélice y agitadores de anclaje.

Figura 1-8TIPOS DE ASPAS



Fuente: Procesosbio.wikispaces.com/Agitadores

Agitadores para líquidos de viscosidad moderada:

- Agitador marino de tres palas;
- Turbina simple de pala recta;
- Turbina de disco;
- Agitador de pala cóncava CD-6
- Turbina de pala inclinada

1.12.1 Agitadores De Turbina

La mayor parte de ellos se asemejan a agitadores de múltiples y cortas paletas, que giran con velocidades elevadas sobre un eje que va montado centralmente dentro del tanque. Las paletas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales. El rodete puede ser abierto, semicerrado o cerrado. El diámetro del rodete es menor que en el caso de agitadores de paletas, siendo del orden del 30 al 50% del diámetro del tanque.

Los agitadores de turbina son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades; en líquidos poco viscosos, producen corrientes intensas, que se extienden por todo el tanque y destruyen las masas de líquido estancado. En las proximidades del rodete existe una zona de corrientes rápidas, de alta turbulencia e intensos esfuerzos cortantes. Las corrientes principales son radiales y tangenciales. Las componentes tangenciales dan lugar a vórtices y torbellinos, que se deben evitar por medio de placas deflectoras o un anillo difusor, con el fin de que el rodete sea más eficaz.

El agitador de turbina semiabierto, conocido como agitador de disco con aletas, se emplea para dispersar o disolver un gas en un líquido. El gas entra por la parte inferior del eje del rodete; las aletas lanzan las burbujas grandes y las rompen en muchas pequeñas, con lo cual se aumenta grandemente el área interfacial entre el gas y el líquido.

1.13 Consumo de Potencia

Las variables que pueden ser controladas y que influyen en la Potencia consumida por el agitador son:

- ✓ Dimensiones principales del tanque y del rodete: Diámetro del tanque (D_t), Diámetro del rodete (D_a), altura del líquido (H), ancho de la placa deflectora (J), distancia del fondo del tanque hasta el rodete (E), y dimensiones de las paletas.
- ✓ Viscosidad (μ) y densidad (ρ) del fluido.
- ✓ Velocidad de giro del agitador (N).

El cálculo de la potencia consumida se hace a través de números adimensionales, relacionando por medio de gráficos el número de Reynolds y el Número de

Potencia. Estas gráficas dependerán de las características geométricas del agitador y de si están presentes o no, las placas deflectoras.

1.14 Baño Termostatizado

Un baño termostático es un instrumento muy útil en un laboratorio, se utiliza para mantener una solución a una temperatura constante durante el tiempo que nos interesa.

Los baños termostáticos se usan a 25°C, 37°C ó 56°C, según la aplicación que se utiliza. Hay baños termostáticos de distintos tamaños, con agitación del agua o del baño o sin agitación, con tapa o sin ella (para reducir la evaporación cuando el baño se usa a 56°C) y con agitación de los tubos o matraces que se introducen en el baño (hay reacciones que además de la temperatura elevada requieren agitar a los componentes de la reacción).

1.15 Transferencia de Calor en Tanques Agitados

Entre las aplicaciones habituales de procesos químicos y biológicos, se requiere el uso de recipientes agitados en operaciones discontinuas en las cuales se presenta un calentamiento o enfriamiento del reactor agitado, manteniendo una temperatura constante durante el periodo de reacción, por lo que en la actualidad se utilizan dos tipos de sistemas de intercambio de calor, siendo estos:

- ✓ Chaquetas de enfriamiento o calentamiento.
- ✓ Serpentes de tubería.

1.15.1 Mediante Chaqueta

En el encamisado o enchaquetado se utiliza la chaqueta generalmente de forma externa, recubriendo al biorreactor. Siendo éste el medio físico donde el calor puede ser transmitido o absorbido al fluido.

Se utilizan cuando se precisa de una limpieza frecuente del tanque en cuestión, así como recipientes en los cuales sea difícil colocar serpentines internos. Este proporciona un mejor coeficiente global de transmisión de calor que los serpentines externos. Contrariamente se dispone de área limitada para llevar a cabo la

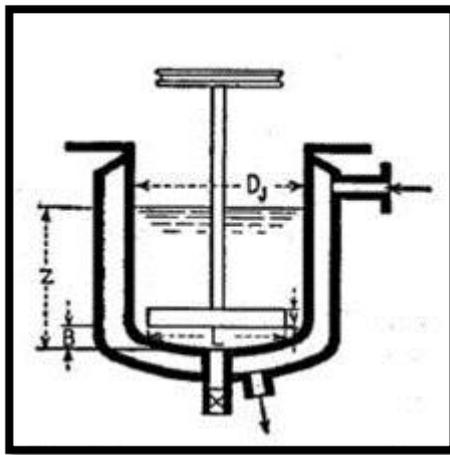
transmisión de calor, así como el fluido líquido no mantiene uniformes sus características en el interior de la camisa.

Se utilizan cuando se precisa de una limpieza frecuente del tanque en cuestión, así como recipientes en los cuales sea difícil colocar serpentines internos. Este proporciona un mejor coeficiente global de transmisión de calor que los serpentines externos. Contrariamente se dispone de área limitada para llevar a la transmisión de calor, así como el fluido líquido no mantiene uniformes sus características en el interior de la camisa.

En la siguiente figura se muestra un recipiente enchaquetado estándar. Consiste de un recipiente y su chaqueta y los medios apropiados para circular el líquido dentro de la misma y un agitador de aspas planas.

Las dimensiones básicas para el cálculo de chaquetas son: altura de la porción húmeda del recipiente Z , diámetro del recipiente D , longitud de la paleta del agitador L y la altura desde el fondo de la paleta hasta el fondo del recipiente B .

Figura 1-9RECIPIENTE ENCHAQUETADO



Fuente: KERM, Donald Q. Procesos de Transferencia de Calor.

1.15.2 *Mediante Serpentin*

El serpentín de tubos proporciona uno de los medios más baratos de obtener superficie para transferencia de calor. Para el diseño de serpentines para transferencia de calor se debe determinar el área de transmisión de calor necesaria para mantener el líquido contenido dentro del tanque a una temperatura constante o para aumentarla o disminuirla, en un tiempo determinado.

Los serpentines de calentamiento se colocan en la zona baja del tanque, mientras que los de enfriamiento se sitúan en la parte alta del tanque. Pueden también estar colocados en pendiente para facilitar su drenaje.

1.15.3 Fenómeno de Agitación y Mezcla

La agitación es la operación por la cual se crea movimientos violentos e irregulares en el seno de una materia fluida, o aquella que se comporte como tal, por medio de dispositivos mecánicos que actúan sobre esta. Si la materia líquida que recibe la acción violenta e irregular es una sustancia única, se trata entonces de una agitación propiamente dicha, si son dos o más especies o sustancias sean o no miscibles entre sí se trata de una mezcla.¹

Siendo así, sí el componente líquido predomina en una mezcla de sustancias a ser combinadas, la operación de mezclado sería una agitación y un agitador es usado como el dispositivo de mezcla. La agitación encuentra una amplia aplicación en la industria como medio para promover ciertas operaciones tales como extracción, mezcla, absorción, transferencia de calor y reacciones químicas.

1.15.4 Sistemas de Agitación

Un sistema de agitación consta de los componentes necesarios para realizar la operación y describe el proceso para generar los movimientos violentos en el fluido, así como el equipo y el recipiente utilizado.

Figura 1-10 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN PARA PROCESOS DE MEZCLADO

Criterios Físicos.	Componentes.	Criterios químicos y de transferencia de masa.
Mezcla.	Líquido-líquido (miscibles).	Reacciones químicas.
Suspensión.	Sólido-líquido.	Disolución, precipitación.
Dispersión.	Gas-líquido.	Absorción de gas.
	Sólido-líquido-gas.	
Emulsiones.	Líquido-líquido (no miscibles)	Extracción.
	Líquido-líquido-sólido.	
	Gas-líquido-líquido.	
	Gas-líquido-líquido-sólido.	
Bombeo.	Fluido en movimiento.	Transferencia de calor.

Fuente: VIAN A, OCON J. Elementos de Ingeniería Química

¹ VIAN A, OCON J; Elementos de Ingeniería Química; p. 718

1.16 Tanques Agitados

La agitación es una operación utilizada para acelerar los procesos de transferencia de calor y de masa. Mediante esta operación se consigue la introducción de energía en el volumen del fluido, o sea, que la energía cinética que posee el impelente se transfiere al fluido provocando su movimiento. Los impelentes utilizados con este objetivo pueden ser clasificados por el flujo que inducen en el tanque agitado como impelentes de flujo axial y de flujo radial.

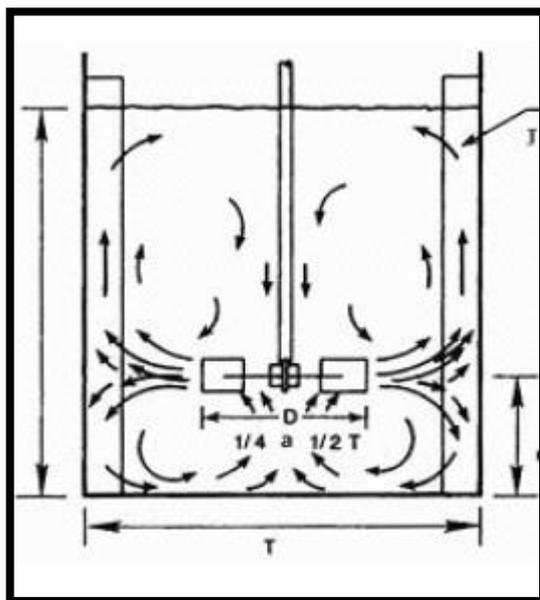
La agitación se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente. Los objetivos de la agitación pueden ser:

- ✓ Mezcla de dos líquidos miscibles
- ✓ Disolución de sólidos en líquido
- ✓ Mejorar la transferencia de calor (en calentamiento o enfriamiento)
- ✓ Dispersión de un gas en un líquido (oxígeno en caldo de fermentación)
- ✓ Dispersión de partículas finas en un líquido
- ✓ Dispersión de dos fases no miscibles

Generalmente el equipo consiste en un recipiente cilíndrico (cerrado o abierto), y un agitador mecánico, montado en un eje y accionado por un motor eléctrico. Las proporciones del tanque varían ampliamente, dependiendo de la naturaleza del problema de agitación. El fondo del tanque debe ser redondeado, con el fin de eliminar los bordes rectos o regiones en las cuales no penetrarían las corrientes del fluido. La altura del líquido, es aproximadamente igual al diámetro del tanque. Sobre un eje suspendido desde la parte superior, va montado un agitador. El eje está accionado por un motor, conectado a veces, directamente al mismo, pero con mayor frecuencia, a través de una caja de engranajes reductores.

El agitador crea un cierto tipo de flujo dentro del sistema, dando lugar a que el líquido circule por todo el recipiente y vuelva de vez en cuando al agitador.

Figura 1-11 TANQUE CON AGITACIÓN



Fuente: PERRY R, Manual del Ingeniero Químico.

1.17 Tipos de Agitadores

Los agitadores se dividen en dos clases: los que generan corrientes paralelas al eje del agitador y los que dan origen a corrientes en dirección tangencial o radial. Los primeros se llaman agitadores de flujo axial y los segundos agitadores de flujo radial.

Los tres tipos principales de agitadores son, de hélice, de paletas, y de turbina. Cada uno de estos tipos comprende muchas variaciones y subtipos que no consideraremos aquí. En algunos casos también son útiles agitadores especiales, pero con los tres tipos antes citados se resuelven, quizás, el 95% de los problemas de agitación de líquidos.

1.17.1 Agitadores de Hélice

Un agitador de hélice, es un agitador de flujo axial, que opera con velocidad elevada y se emplea para líquidos pocos viscosos. Los agitadores de hélice más pequeños, giran a toda la velocidad del motor, unas 1.150 ó 1.750 rpm; los mayores giran de 400 a 800 rpm. Las corrientes de flujo, que parten del agitador, se mueven a través del líquido en una dirección determinada hasta que son desviadas por el fondo o las paredes del tanque. La columna de remolinos de líquido de elevada turbulencia, que parte del agitador, arrastra en su movimiento al líquido estancado,

generando un efecto considerablemente mayor que el que se obtendría mediante una columna equivalente creada por una boquilla estacionaria. Las palas de la hélice cortan o friccionan vigorosamente el líquido. Debido a la persistencia de las corrientes de flujo, los agitadores de hélice son eficaces para tanques de gran tamaño. Para tanques extraordinariamente grandes, del orden de 1500m^3 se han utilizado agitadores múltiples, con entradas laterales al tanque.

El diámetro de los agitadores de hélice, raramente es mayor de 45 cm, independientemente del tamaño del tanque. En tanques de gran altura, pueden disponerse dos o más hélices sobre el mismo eje, moviendo el líquido generalmente en la misma dirección. A veces dos agitadores operan en sentido opuesto creando una zona de elevada turbulencia en el espacio comprendido entre ellos.

1.17.2 Agitadores de Paletas

Para problemas sencillos, un agitador eficaz está formado por una paleta plana, que gira sobre un eje vertical. Son corrientes los agitadores formados por dos y tres paletas. Las paletas giran a velocidades bajas o moderadas en el centro del tanque, impulsando al líquido radial y tangencialmente, sin que exista movimiento vertical respecto del agitador, a menos que las paletas estén inclinadas. Las corrientes de líquido que se originan se dirigen hacia la pared del tanque y después siguen hacia arriba o hacia abajo. Las paletas también pueden adaptarse a la forma del fondo del tanque, de tal manera que en su movimiento rascan la superficie o pasan sobre ella con una holgura muy pequeña. Un agitador de este tipo se conoce como agitador de ancla. Estos agitadores son útiles cuando se desea evitar el depósito de sólidos sobre una superficie de transmisión de calor, como ocurre en un tanque enchaquetado, pero no son buenos mezcladores.

Generalmente trabajan conjuntamente con un agitador de paletas de otro tipo, que se mueve con velocidad elevada y que gira normalmente en sentido opuesto.

Los agitadores industriales de paletas giran a una velocidad comprendida entre 20 y 150 rpm. La longitud del rodete de un agitador de paletas es del orden de 50 al 80% del diámetro interior del tanque. La anchura de la paleta es de un sexto a un décimo de su longitud. A velocidades muy bajas, un agitador de paletas produce una agitación suave, en un tanque sin placas deflectoras o cortacorrientes, las cuales son

necesarias para velocidades elevadas. De lo contrario el líquido se mueve como un remolino que gira alrededor del tanque, con velocidad elevada pero con poco efecto de mezcla.

1.17.3 Agitadores de Turbina

La mayor parte de ellos se asemejan a agitadores de múltiples y cortas paletas, que giran con velocidades elevadas sobre un eje que va montado centralmente dentro del tanque. Las paletas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales. El rodete puede ser abierto, semicerrado o cerrado. El diámetro del rodete es menor que en el caso de agitadores de paletas, siendo del orden del 30 al 50% del diámetro del tanque.

Los agitadores de turbina son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades; en líquidos poco viscosos, producen corrientes intensas, que se extienden por todo el tanque y destruyen las masas de líquido estancado. En las proximidades del rodete existe una zona de corrientes rápidas, de alta turbulencia e intensos esfuerzos cortantes. Las corrientes principales son radiales y tangenciales. Las componentes tangenciales dan lugar a vórtices y torbellinos, que se deben evitar por medio de placas deflectoras o un anillo difusor, con el fin de que el rodete sea más eficaz.

El agitador de turbina semiabierto, conocido como agitador de disco con aletas, se emplea para dispersar o disolver un gas en un líquido. El gas entra por la parte inferior del eje del rodete; las aletas lanzan las burbujas grandes y las rompen en muchas pequeñas, con lo cual se aumenta grandemente el área interfacial entre el gas y el líquido.

1.18 Tipos de flujo en tanques Agitados

El tipo de flujo que se produce en un tanque agitado, depende del tipo de rodete, de las características del fluido y del tamaño y proporciones del tanque, placas deflectoras y agitador. La velocidad del fluido en un punto del tanque tiene tres componentes y el tipo de flujo global en el mismo, depende de las variaciones de estas tres componentes de la velocidad, de un punto a otro. La primera componente de velocidad es radial y actúa en dirección perpendicular al eje del rodete. La segunda es longitudinal y actúa en dirección paralela al eje. La tercera es tangencial

o rotacional, y actúa en dirección tangencial a la trayectoria circular descrita por el rodete.

Para el caso corriente de un eje vertical, las componentes radial y tangencial están en un plano horizontal y la componente longitudinal es vertical. Las componentes radial y longitudinal son útiles porque dan lugar al flujo necesario para que se produzca la mezcla. Cuando el eje es vertical y está dispuesto en el centro del tanque, la componente tangencial de velocidad es generalmente perjudicial para la mezcla. El flujo tangencial sigue una trayectoria circular alrededor del eje y crea un vórtice en la superficie del líquido que debido a la circulación en flujo laminar, da lugar a una estratificación permanente en diferentes niveles, de sustancias sin mezclar, sin que exista flujo longitudinal de un nivel a otro. Si están presentes partículas sólidas, las corrientes circulatorias tienden a lanzar las partículas contra la pared del tanque, debido a la fuerza centrífuga, desde donde caen acumulándose en la parte central del fondo del tanque. Por consiguiente en vez de mezcla, se produce la acción contraria.

En un tanque sin placas deflectoras, el flujo circulatorio es inducido por todos los tipos de rodete, tanto si el flujo es axial como radial. Si los remolinos son intensos, el tipo de flujo dentro del tanque es esencialmente el mismo, independientemente del diseño del rodete. Para velocidades de giro del rodete elevadas, la profundidad del vórtice puede ser tan grande que llegue al rodete mismo, dando lugar a que en el líquido se introduzca el gas que está encima de él, lo cual normalmente debe evitarse.

1.19 Formas de evitar remolinos

Colocando el agitador fuera del eje central del tanque. En tanques pequeños se debe colocar el rodete separado del centro del tanque, de tal manera que el eje del agitador no coincida con el eje central del tanque. En tanques mayores el agitador puede montarse en forma lateral, con el eje en un plano horizontal, pero no en la dirección del radio.

Instalando placas deflectoras. Estas son placas verticales perpendiculares a la pared del tanque. En tanques pequeños son suficientes 4 placas deflectoras, para evitar remolinos y formación de vórtice. El ancho de las placas no debe ser mayor que un doceavo del diámetro del tanque. Cuando se usan agitadores de hélice, el ancho de

la placa puede ser de un octavo del diámetro del tanque. Si el eje del agitador está desplazado del centro o inclinado, no se necesitan placas deflectoras.

Cuando no se presentan remolinos, el tipo de flujo específico depende del tipo de rodete:

- ✓ Los agitadores de hélice impulsan el líquido hacia el fondo del tanque, desde donde la corriente se extiende subiendo por las paredes y retornando hacia la hélice. Se emplean cuando se desean intensas corrientes verticales, por ejemplo para mantener en suspensión partículas sólidas pesadas. No se emplean cuando la viscosidad del líquido es superior a los 5.000 Centipoises.
- ✓ Los agitadores de paletas producen un flujo radial intenso en el plano próximo a las palas, pero prácticamente no dan lugar a corrientes verticales. Estos agitadores no son eficaces para mantener sólidos en suspensión.
- ✓ Los agitadores de turbina impulsan al líquido radialmente contra las paredes laterales del tanque, desde donde la corriente se divide, una parte fluye hacia arriba y otra parte hacia el fondo, retornando ambas al rodete. Por lo que producen dos corrientes de circulación separadas. Dan excelentes resultados en la mezcla de líquidos que tienen aproximadamente la misma densidad relativa.

1.20 Transferencia de Calor en Tanques Agitados

Entre las aplicaciones habituales de procesos químicos y biológicos, se requiere el uso de recipientes agitados en operaciones discontinuas, continuas y semicontinuas, en las cuales se presenta un calentamiento o enfriamiento del reactor agitado, manteniendo una temperatura constante durante el periodo de reacción, por lo que en la actualidad se utilizan dos tipos de sistemas de intercambio de calor, siendo estos:

- ✓ Chaquetas de enfriamiento o calentamiento.
- ✓ Serpentes de tubería.

1.20.1 Chaquetas de enfriamiento o calentamiento

Principalmente se coloca un revestimiento a los reactores o también llamados chaquetas para asegurar un eficiente intercambio de calor. Esta transferencia debe ser uniforme sobre el total de la superficie del tanque por lo cual en el mercado existen un sin número de empresas que han desarrollan diferentes diseños de chaquetas para toda clase de reactores, con el fin de que cuando se combinan con la correcta agitación y aislamiento den como resultado un proceso más eficiente.

Se denomina chaqueta al doble fondo o encamisado de un recipiente. El propósito de este equipo generalmente es calentar el contenido del recipiente, siendo este el medio físico donde el calor puede ser transmitido al fluido.

Existen tres tipos de tanques con tres tipos chaquetas:

- ✓ Tanque con chaqueta convencional
- ✓ Tanque con chaqueta en medio de agua fría (serpentes)
- ✓ Tanque con chaqueta con relieve: comúnmente conocida como chaquetas dimplex, son las más utilizadas en tanques de procesos

Se utilizan cuando se precisa de una limpieza frecuente del tanque en cuestión, así como recipientes en los cuales sea difícil colocar serpentines internos. Este proporciona un mejor coeficiente global de transmisión de calor que los serpentines externos. Contrariamente se dispone de área limitada para llevar a cabo la transmisión de calor, así como el fluido líquido no mantiene uniformes sus características en el interior de la camisa.

En la figura se muestra un recipiente enchaquetado estándar. Consiste de un recipiente y su chaqueta y los medios apropiados para circular el líquido dentro de la misma y un agitador de aspas planas.

Las dimensiones básicas para el cálculo de chaquetas son: altura de la porción húmeda del recipiente, diámetro del recipiente, longitud de la paleta del agitador y la altura desde el fondo de la paleta hasta el fondo del recipiente.

Los tanques con chaqueta son muy utilizados en la industria para reacciones endotérmicas y exotérmicas en lote para llevar a cabo. Las chaquetas son menos eficientes que los serpentines, tienen mayor costo inicial y resultan bastante

difíciles de limpiar mecánicamente porque el acceso al interior de la camisa es complicado. En comparación con los serpentines, las camisas son una pobre elección. Un serpentín de la misma superficie tiene un intercambio de calor bastante mayor, alrededor de un 125% calculado en la base de la camisa. En un recipiente encamisado en general se trata de mantener caliente al líquido que contiene el recipiente. Por lo general la resistencia controlante está del lado del líquido. En la chaqueta se suele usar vapor como medio calefactor. Al mismo tiempo se agita el recipiente para asegurar un buen intercambio.²

1.20.2 Serpentes de Tubo

El serpentín de tubos proporciona uno de los medios más baratos de obtener superficie para transferencia de calor. Para el diseño de serpentines para transferencia de calor se debe determinar el área de transmisión de calor necesaria para mantener el líquido contenido dentro del tanque a una temperatura constante o para aumentarla o disminuirla, en un tiempo determinado.

Los serpentines de calentamiento se colocan en la zona baja del tanque, mientras que los de enfriamiento se sitúan en la parte alta del tanque. Pueden también estar colocados en pendiente para facilitar su drenaje.

Generalmente, los serpentines se fabrican en gran variedad de configuraciones y materiales partiendo de las aplicaciones y geometría del recipiente. Se construyen doblando longitudes variables de tubería de cobre, acero o aleaciones, para darle forma de hélices, o serpentines helicoidales dobles en los que la entrada y salida están convenientemente localizadas lado a lado. El espesor de pared a seleccionar varía con el tipo de servicio y el material.

Los diferentes tipos de serpentines son:

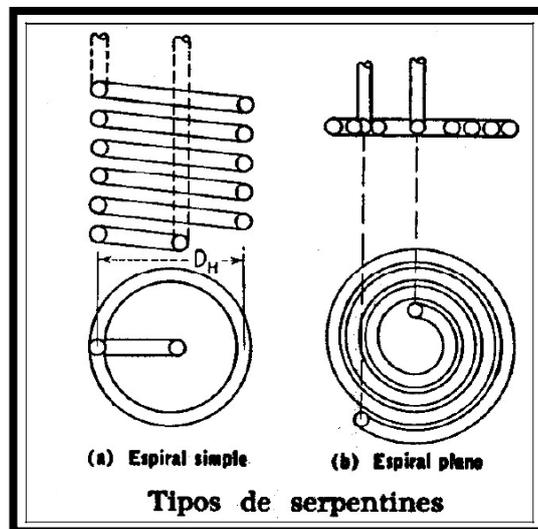
- ✓ **Serpentes helicoidales de cualquier tipo:** se instalan frecuentemente en recipientes cilíndricos verticales, ya sea con agitador o sin él, y siempre se provee de espacio entre el serpentín y la pared del recipiente para

²http://www.academia.edu/3212538/Intercambiadores_de_calor

circulación. Cuando estos serpentines se usan con agitación mecánica, el eje vertical del agitador corresponde usualmente al eje vertical del cilindro.

- ✓ **Serpentines de doble espiral:** pueden instalarse dentro de corazas con sus conexiones pasando a través de la coraza o sobre su tapa. Tales aparatos son similares a un intercambiador tubular, aunque limitados a pequeñas superficies.
- ✓ **Serpentín de espiral plano:** espiral enrollado en un plano de manera que se puede localizar cerca del fondo de un recipiente para transferir calor por convección libre.

Figura 1-12 TIPOS DE SERPENTINES



Fuente: KERM, Donald Q. Procesos de Transferencia de Calor.

1.21 Consideraciones para el Calentamiento y enfriamiento de lotes agitados

Para los procesos de transferencia de calor por lote o discontinuos, se consideran las siguientes suposiciones:

- ✓ U es constante en toda la superficie y para el proceso completo.
- ✓ El flujo de líquido de enfriamiento es constante.
- ✓ Los calores específicos son constantes.

- ✓ La temperatura de entrada constante del medio calefactor o enfriador.
- ✓ La temperatura es homogénea en el fluido agitado (mezcla perfecta).
- ✓ No se tienen cambios parciales de fase.
- ✓ Las pérdidas de calor son despreciables.

1.22 DISEÑO

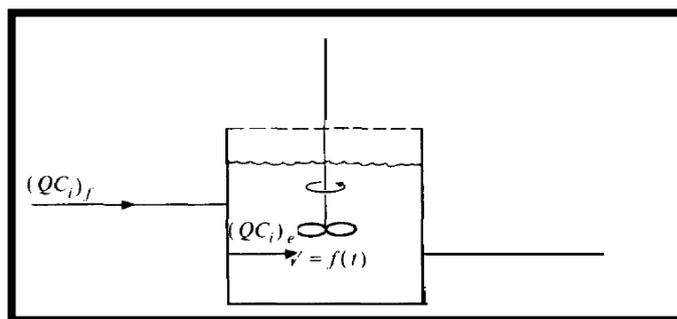
Para llevar a cabo el dimensionamiento de un reactor semicontinuo, se debe tener en cuenta las variables clave del proceso:

- ✓ Volumen del reactor
- ✓ Temperatura
- ✓ Presión
- ✓ Concentración de las especies químicas
- ✓ Tiempo de retención
- ✓ Coeficientes de transferencia de calor

El reactor semicontinuo es un sistema flexible pero más difícil de analizar que los otros tipos; ofrece un buen control de la velocidad de reacción, debido a que esta transcurre a medida que se añaden los reactantes. Este reactor tiene múltiples aplicaciones: desde su empleo para titulaciones colorimétricas en el laboratorio, hasta su uso en los grandes hornos de solera plana para la obtención de aceros.

El punto de partida para el diseño es un balance de materia referido a cualquier reactante (o producto). Por consiguiente, como se indica en la siguiente figura, tenemos:

Figura 1-13 REACTOR SEMICONTINUO (DE TIPO TANQUE CON AGITACIÓN)



Fuente: LEVENSPIEL, Octave.

Un reactor de tipo tanque que no opere con estado estable puede describirse como un reactor semicontinuo. El comportamiento semicontinuo se produce después de iniciar la operación de un reactor de tanque con flujo, en el que se modifican las condiciones de un estado estable a otro o bien se suspende la operación. Los procesos de purga en los que se añade un material inerte al reactor, también pueden clasificarse como operaciones semicontinuas.

Además de las aplicaciones que tienen su origen en estos cortos periodos de desviaciones del estado estable, el reactor semicontinuo se usa con frecuencia debido a sus propias características especiales. Por ejemplo, algunas veces es ventajoso añadir inicialmente la totalidad de un reactante y seguir después con la introducción de los otros en forma continua. Cuando el calor de reacción es elevado, el desprendimiento de energía puede controlarse regulando la adición de uno de los reactantes. De esta manera las desventajas de los reactores por lotes que se derivan de sus malas características de transferencia de calor pueden ser parcialmente eliminadas. Esta forma de operación semicontinua permite también cierto grado de control de la concentración de la mezcla reaccionante y, por tanto, de la velocidad de la reacción, lo cual no es posible en reactores continuos o por lotes. Otro ejemplo es aquel en que los reactantes se encuentran todos inicialmente en el recipiente, pero uno de los productos debe eliminarse continuamente, como en la eliminación del agua, mediante ebullición, en las reacciones de esterificación.

Las ecuaciones de balance de masa para las operaciones semicontinuas pueden incluir los cuatro términos del balance general. Las corrientes de alimentación y extracción del reactor causan cambios en la composición y el volumen de la mezcla reaccionante, además de las variaciones debidas a la propia reacción. Existen muchas alternativas de operación. Uno de los reactantes puede estar presente en la carga inicial del reactor, mientras que el otro reactante se añade con régimen continuo, en forma periódica o a una velocidad continuamente variable. De manera análoga, el producto puede extraerse en diferentes formas.

$$\left(\begin{array}{c} \text{caudal de entrada de} \\ \text{reactante} \\ \text{en el elemento} \\ \text{de volumen} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{caudal de salida de} \\ \text{reactante} \\ \text{del elemento} \\ \text{de volumen} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{caudal perdido de} \\ \text{reactante debido} \\ \text{a la reacción química} \\ \text{en el} \\ \text{elemento} \\ \text{de volumen} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{caudal de} \\ \text{acumulación} \\ \text{de reactante} \\ \text{en el elemento} \\ \text{de volumen} \end{array} \right)$$

Ecuación 1-1

En términos de la concentración molar C_i de la especie i , de la velocidad de flujo volumétrico Q y del volumen del reactor V , tenemos:

$$(Q C_i)_f - (Q C_i)_e + r_i V = \frac{d[V(C_i)_e]}{dt}$$

Ecuación 1-2

Donde:

r_i : es la velocidad molar de producción de i .

C_i : concentraciones de entrada y salida respectivamente

V : volumen

Q_e, Q_f : velocidad del flujo de alimentación y salida respectivamente

Además del balance de masa de la especie, se puede escribir un balance total de masa. Si las densidades de las corrientes de alimentación y de salida son ρ_f y ρ_e la ecuación para el flujo total es:

$$Q_f \rho_f - Q_e \rho_e + 0 = \frac{d[V \rho_e]}{dt}$$

Ecuación 1-3

Las dos expresiones son suficientes para determinar la concentración del efluente $(C_i)_e$, y el volumen del reactor en función del tiempo, siempre y cuando se conozcan las velocidades de flujo Q_f y Q_e con respecto al tiempo, se disponga de los valores de las densidades, se conozca r_i en función de las concentraciones y se cuente con las concentraciones iniciales. Frecuentemente se requieren métodos de integración numérica incluso para las situaciones isotérmicas.

Un caso importante para el que es posible la integración analítica, es, cuando las velocidades de flujo de alimentación y de extracción, la composición de la alimentación y la densidad son constantes y la reacción es de primer orden. Piret y Masonz analizaron reactores de tanque con agitación simples y en cascada (en serie) operando con estas restricciones. Sus resultados son una representación razonable del comportamiento de muchos sistemas en los periodos inicial y final de la operación. Con una densidad constante, la concentración es el único factor responsable de los cambios en la cantidad de reactante. Además, para una densidad constante junto con velocidades de flujo constante, la Ec. 1-3 muestra que el

volumen del reactor V permanecerá constante. Con estas limitaciones, la Ec. 1-2 puede escribirse como:

$$(QCi)_f - (QCi)_e + r_i V = V \frac{d[(Ci)_e]}{dt}$$

Ecuación 1-4

O también como:

$$(Ci)_f - (Ci)_e + r_i \bar{\theta} = \bar{\theta} \frac{d[(Ci)_e]}{dt}$$

Ecuación 1-5

Si i es el reactante, su velocidad de producción es $r_i = kC_i$. Entonces, si la temperatura es constante, la Ec. 1-5 es una ecuación diferencial lineal que puede integrarse analíticamente. En términos de $\bar{\theta}$ puede escribir como:

$$\frac{d(Ci)_e}{dt} + \left(\frac{1}{\bar{\theta}} + k \right) (Ci)_e = \frac{(Ci)_f}{\bar{\theta}}$$

Ecuación 1-6

Como segunda ilustración del comportamiento semicontinuo, considérese que el reactor que se muestra en la figura anterior se opera sin corriente de extracción y con adición continua de alimentación. Para casos como éste, en los que el volumen del reactor varia con el tiempo, resulta más conveniente usar como variable en el balance de masas las moles de la especie i (en lugar de su concentración). Para nuestro caso sin extracción, la Ec. 1-2 se transforma en:

$$F_A + r_i V = \frac{d(n_i)_e}{dt}$$

Ecuación 1-7

Donde F , es la velocidad molal de alimentación de i y n_i es el número de moles de i en el reactor en cualquier instante t . Puesto que los cambios de densidad durante la reacción suelen ser pequeños para mezclas líquidas (los reactores semicontinuos casi siempre se usan para líquidos), podemos suponer una densidad constante. Entonces, la Ec. 1-3 se reduce a:

$$\frac{dV}{dt} = Q_f$$

Ecuación 1-8

Las Ecs. 1-7 y 1-8 se combinan formando un conjunto de ecuaciones diferenciales que pueden resolverse simultáneamente en términos de n_i y el volumen del reactor en función del tiempo. Si la velocidad de alimentación es constante, la Ec. 1-8 puede integrarse de inmediato para obtener:

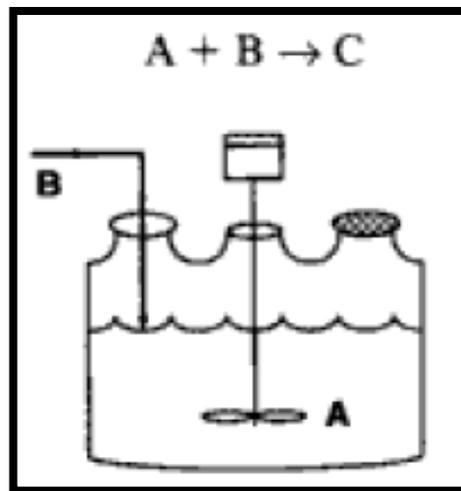
$$V = V_o + Q_f * t$$

Ecuación 1-9

Donde V_o , es el volumen inicial en el reactor. Para este caso, la Ec. 1-9 puede sustituir al Ven la Ec. 1-7 para que sólo exista una ecuación diferencial.

Reactor Semicontinuo o semilotes que tiene la alimentación molar constante, considerando la reacción elemental en fase líquida.

Figura 1-14 REACTOR SEMILOTE



Fuente: FOGLER S. Elementos de ingeniería de las reacciones.

Donde se añade lentamente el reactivo B a una cuba que contiene el reactivo A. Un balance de moles de la especie A da:

$$\left(\text{velocidad de entrada} \right) - \left(\text{velocidad de salida} \right) + \left(\text{velocidad de generación} \right) = \left(\text{velocidad de acumulación} \right)$$

Ecuación 1-10

$$0 - 0 + r_A V_{(t)} = \frac{dN_A}{dt}$$

Hay tres variables que podemos usar para formular y resolver problemas de reactores semilotes: la concentración C, el número de moles N, y la conversión X.

1.23 Ecuaciones de un reactor semilotes en términos de concentraciones

Si recordamos que el número de moles de A no es más que el producto de la concentración de A, C_A , por el volumen V, podemos escribir la ecuación 1-10 así:

$$r_A V = \frac{d(C_A V)}{dt} = \frac{V dC_A}{dt} + C_A \frac{dV}{dt}$$

Ecuación 1-11

Cabe señalar que, como el reactor se está llenando, el volumen V varía con el tiempo. Podemos calcular el volumen del reactor en cualquier instante t, a partir de un balance de masa global de todas las especies:

$$\left(\text{velocidad de entrada} \right) - \left(\text{velocidad de salida} \right) + \left(\text{velocidad de generación} \right) = \left(\text{velocidad de acumulación} \right)$$

$$\rho_o v_o - 0 + 0 = \frac{d\rho V}{dt}$$

Ecuación 1-12

En el caso de un sistema de densidad constante $\rho_o = \rho$ tenemos:

$$\frac{dV}{dt} = v_o$$

Ecuación 1-13

Con la condición inicial $V = V_o$ en $t = 0$, la integración para el caso de V_o constante da:

$$V = V_o + v_o t$$

Ecuación 1-14

Si sustituimos la ecuación 1-13 en el miembro derecho de la ecuación 1-11 y reacomodamos, obtenemos:

$$-v_o C_A + V r_A = \frac{V dC_A}{dt}$$

El balance de A se puede escribir así:

$$\frac{dC_A}{dt} = r_A - \frac{v_o C_A}{V}$$

Ecuación 1-15

Un balance de moles de B que se alimenta al reactor con velocidad F_{BO} es:

$$\frac{dN_B}{dt} = r_B + F_{BO}$$

Ecuación 1-16

$$\frac{dVC_B}{dt} = \frac{dV}{dt} C_B + \frac{VdC_B}{dt} = r_B V + F_{BO}$$

Si sustituimos la ecuación 1-14 en términos de V y diferenciamos, el balance de moles de B se convierte en:

$$\frac{dC_B}{dt} = r_B + \frac{v_o(C_{BO} - C_B)v_o}{V}$$

Ecuación 1-17

Si la reacción no es de orden cero ni de primer orden, o si la reacción no es isotérmica, tendremos que usar técnicas numéricas para determinar la conversión en función del tiempo.

1.24 Ecuaciones para un reactor Semicontinuo en términos del número de moles

También se puede resolver problemas de reactores semilotes o semicontinuos dejando las ecuaciones del balance de moles en términos del número de moles de cada especie, si recordamos las ecuaciones del balance de moles para A y B, ecuaciones 1-10 y 1-16 respectivamente, junto con la ecuación 1-14 para el volumen del reactor, tenemos:

$$\frac{dN_A}{dt} = r_A V(t)$$

$$\frac{dN_B}{dt} = r_B V(t) + F_{BO}$$

$$V = V_o + v_o t$$

Donde la concentración en un sistema por lotes es:

$$C_A = \frac{N_A}{V}$$

Ecuación 1-18

$$C_B = \frac{N_B}{V}$$

Y sustituimos estas ecuaciones en la ley de velocidad para obtener ecuaciones expresadas únicamente en términos del número de moles por ejemplo si:

$$\frac{dN_A}{dt} = -k \frac{N_A N_B}{V_o + v_o t}$$

Ecuación 1-19

$$\frac{dN_B}{dt} = -k \frac{N_A N_B}{V_o + v_o t} + F_{B0}$$

Ecuación 1-20

Donde se tiene que especificar los valores de los parámetros k, V_o, v_o, F_{B0} y las condiciones iniciales para despejar N_A y N_B de estas ecuaciones y calcular sus valores.

1.25 Ecuaciones para un reactor Semicontinuo en términos de conversión

Consideremos la reacción: $A + B \leftrightarrow C + D$

En la que B se alimenta a una cuba que solo contiene A inicialmente. La reacción es de primer orden en A y de primer orden en B. El número de moles de A que quedan en cualquier instante t se puede calcular a partir del balance:

$$\left[\begin{array}{c} \text{número de moles} \\ \text{de A} \\ \text{en la cuba en} \\ \text{el instante t} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{número de moles de A} \\ \text{en la} \\ \text{cuba inicialmente} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{número de moles de A} \\ \text{que han reaccionado} \\ \text{hasta el instante t} \end{array} \right]$$

Ecuación 1-21

$$N_A = N_{A0} - N_{A0}X$$

Donde X es el número de moles de A que han reaccionado por mol de A que había inicialmente en la cuba. Algo similar ocurre con la especie B.

$$\left[\begin{array}{c} \text{número} \\ \text{de moles} \\ \text{de B} \\ \text{en la cuba en} \\ \text{el instante t} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{número de} \\ \text{moles de B} \\ \text{en la} \\ \text{cuba} \\ \text{inicialmente} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{número de moles} \\ \text{de B} \\ \text{añadidos} \\ \text{a la cuba} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{número} \\ \text{de moles} \\ \text{de B} \\ \text{que han} \\ \text{reaccionado} \\ \text{hasta el} \\ \text{instante t} \end{array} \right]$$

$$N_B = N_{Bi} + \int_0^t F_{BO} dt - N_{AO}X$$

Ecuación 1-22

Si la velocidad de alimentación es constante tenemos:

$$N_B = N_{Bi} + F_{BO}t - N_{AO}X$$

Ecuación 1-23

Un balance de moles de la especie A da:

$$r_A V = \frac{dN_A}{dt}$$

Ecuación 1-24

Podemos tomar el número de moles de C y D directamente de la tabla estequiométrica por ejemplo,

$$N_C = N_{Ci} + N_{AO}X$$

En el caso de una reacción reversible de segundo orden $A + B \leftrightarrow C + D$ para la cual la ley de velocidad es:

$$-r_A V = k (C_A C_B \frac{C_C C_D}{K_c})$$

Ecuación 1-25

Las concentraciones de A y B son:

$$C_A = \frac{N_A}{V} = \frac{N_{AO}(1 - X)}{V_O + v_O t}$$

Ecuación 1-26

$$C_B = \frac{N_B}{V} = \frac{N_{Bi} + F_{BO}t - N_{AO}X}{V_O + v_O t}$$

Ecuación 1-27

$$C_C = \frac{N_{AO}X}{V_O + v_O t}$$

Ecuación 1-28

$$C_D = \frac{N_{AO}X}{V_O + v_O t}$$

Ecuación 1-29

Si combinamos las ecuaciones 1-21, 1-24 y 1-25, sustituyendo las concentraciones y dividiendo entre N_{AO} obtenemos:

$$\frac{dX}{dt} = \frac{k[(1 - X)(N_{Bi} + F_{BO}t - N_{AO}X) - (N_{AO}X^2/K_c)]}{V_O + v_O t}$$

Ecuación 1-30

Hay que resolver numéricamente esta ecuación para determinar la conversión en función del tiempo.

1.26 Velocidad de reacción

Se define la velocidad de una reacción química como la cantidad de sustancia formada (si tomamos como referencia un producto) o transformada (si tomamos como referencia un reactivo) por unidad de tiempo.

La velocidad de reacción no es constante. Al principio, cuando la concentración de reactivos es mayor, también es mayor la probabilidad de que se den choques entre las moléculas de reactivo, y la velocidad es mayor, a medida que la reacción avanza, al ir disminuyendo la concentración de los reactivos, disminuye la probabilidad de choques y con ella la velocidad de la reacción. La medida de la velocidad de reacción implica la medida de la concentración de uno de los reactivos o productos a lo largo del tiempo, esto es, para medir la velocidad de una reacción

necesitamos medir, bien la cantidad de reactivo que desaparece por unidad de tiempo, bien la cantidad de producto que aparece por unidad de tiempo. La velocidad de reacción se mide en unidades de concentración/tiempo, esto es, en moles/s.

$$-r_A = k * C_A$$

Ecuación 1-31

Donde:

$-r_A$: velocidad de reacción

K: constante de reacción

C_A : concentración del reactivo A

1.27 Cálculo de la concentración de NaOH en función de la conductividad

Cuando se utiliza un conductímetro como equipo de análisis, el desarrollo de la reacción se lleva a cabo estudiando la variación de la conductividad eléctrica con el tiempo, la cual estará relacionada directamente con la concentración de NaOH existente en el medio de reacción en un instante determinado, dado que el acetato de etilo y los productos de reacción tienen una conductividad eléctrica muy pequeña. La relación existente entre la conductividad del medio y la concentración de NaOH viene determinada por la ecuación.

$$C_{ANaOH} = -5,94 * 10^{-3} + 4,35 * 10^{-3} * \text{Conduct. Específica}$$

Ecuación 1-32

1.28 Ecuaciones para el diseño del sistema de agitación

1.28.1 Ecuación para el cálculo del diámetro del rodete

$$\frac{D_a}{\phi} = \frac{1}{3}$$

Ecuación 1-33

1.28.2 Ecuación para el cálculo de la altura del rodete

$$E = \frac{L}{3}$$

Ecuación 1-34

1.28.3 Ecuación para el cálculo de la altura de la paleta

$$\frac{W}{\emptyset} = \frac{1}{5}$$

Ecuación 1-35

1.28.4 Ecuación para el cálculo del ancho de la paleta

$$\frac{T}{\emptyset} = \frac{1}{5}$$

Ecuación 1-36

1.28.5 Cálculo de la potencia del agitador

$$P = \frac{N_p * n^3 * D_a^5 * \rho_{mezcla}}{g_c}$$

Ecuación 1-37

CAPITULO II

CAPITULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

Este trabajo consiste en el diseño y construcción de un reactor semicontinuo a escala de laboratorio, donde primeramente se realizaron ensayos de laboratorio para tener datos de diferentes parámetros con los cuales posteriormente se realizará el diseño y construcción del equipo. Para los ensayos previos de laboratorio se tomó muy en cuenta los parámetros o variables como son pH, conductividad, temperatura y caudal, donde estos serán los que determinen el ancho, volumen, altura, sistema de calefacción y otras condiciones que garantizarán el correcto funcionamiento del reactor semicontinuo.

2.1 MÉTODOS

El método o conocimiento científico es el procedimiento general que tienen en común todas las ciencias formales y factuales, para el descubrimiento y planteamiento de nuevos problemas; la formulación de hipótesis y su comprobación; la obtención de nuevos conocimientos y su relación con otros.

Método es el procedimiento general que se utiliza indistintamente de que el objeto de estudio sea la naturaleza o la sociedad o incluso los entes formales como los números, la lógica, el lenguaje.

2.1.1 EXPERIMENTAL

A nivel de laboratorio los métodos utilizados dentro de esta investigación son:

- ✓ Determinación de pH utilizando el potenciómetro con su respectivo electrodo para su medición.
- ✓ Determinación de la conductividad de la solución.
- ✓ Determinación de la temperatura de la mezcla.
- ✓ Determinación del caudal y del volumen final con que se obtiene el producto, donde estos datos serán útiles para el dimensionamiento del reactor.

2.1.2 ANÁLISIS

El análisis consiste en la separación de las partes de un todo a fin de estudiarlas por separado, hasta llegar a conocer sus elementos fundamentales y las relaciones que existen entre ellos.

2.1.3 SÍNTESIS

La síntesis, se refiere a la composición de un todo por reunión racional de varios elementos o partes. Esta construcción se puede realizar uniendo las partes, fusionándolas u organizándolas de diversas maneras.

2.1.4 TÉCNICAS

Son un conjunto de procedimientos y recursos que permiten recopilar información necesaria para conseguir y alcanzar un objetivo. Para esto nos apoyaremos en el análisis, síntesis y análisis de laboratorio.

2.1.5 DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS A NIVEL DE LABORATORIO

Las pruebas realizadas a nivel del laboratorio fueron las que determinaron los datos que se usaran para la construcción del reactor semicontinuo, estos ensayos se realizaron utilizando vasos de precipitación de 2000 ml, un sistema de inyección de acetato de etilo que fue diseñado para dichas pruebas, un agitador magnético para realizar la mezcla las soluciones de hidróxido de sodio 0.1M y acetato de etilo 0.1M, donde se obtuvieron datos de pH y conductividad cada cinco minutos hasta que este llegue a ser constante indicativo que la reacción ha terminado.

2.1.6 PROCEDIMIENTO

- ✓ Preparar 400ml de Hidróxido de Sodio 0.1 M y 2000ml de Acetato de Etilo 0.1M.
- ✓ Colocar los 400 ml de Hidróxido de sodio 0.1M en el interior del reactor.
- ✓ Llenar la chaqueta de calefacción con Agua para el calentamiento de la mezcla.
- ✓ Colocar los 2 litros de Acetato de Etilo 0.1M en el recipiente cónico para la alimentación constante de 20ml/min de este reactivo en el reactor.

- ✓ Ajustar la temperatura que permanecerá constante a 20°C durante todo el proceso de reacción. Conectar el motor que accionara el agitador tipo aspas, y poner el cronometro en marcha.
- ✓ Registrar el pH y la conductividad de la mezcla a intervalos de 5 minutos hasta que dichas variables se permanezcan constantes.
- ✓ Retirar el producto al finalizar el proceso para registrar las variables

2.2 PREPARACIÓN DE LA SOLUCIONES

Tabla 2-1 PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES DE HIDRÓXIDO DE SODIO A DIVERSAS CONCENTRACIONES PARA REALIZAR LA CURVA DE CALIBRACIÓN

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
<p>Solución.-es una mezcla de dos o más componentes, perfectamente homogénea ya que cada componente se mezcla íntimamente con el otro, de modo tal que pierden sus características. La concentración de una solución expresa la relación de la cantidad de soluto a la cantidad de solvente.</p>	<p>Balanza</p> <p>4 Balones aforados de 100 ml</p> <p>1 vaso de precipitación de 250 ml</p> <p>1 Pizeta</p> <p>1 Espátula</p> <p>1 Varilla de Agitación</p> <p>Agua</p> <p>Hidróxido de Sodio</p>	<p>Pesar los gramos de NaOH según el cálculo realizado para 0.05M; 0.1M.</p> <p>Colocar la cantidad pesada en el balón aforado de 100 ml. Aforar el balón con agua.</p> <p>Realizar el mismo procedimiento para cada una de las cuatro Concentraciones mencionadas en el primer ítem.</p>	<p>$g\ NaOH = [] * PM * V$</p> <p>Donde:</p> <p>[] = Concentración a la cual queremos la solución (mol/l).</p> <p>PM= Peso molecular del hidróxido de sodio.</p> <p>V = Volumen del balón aforado.</p>

Tabla 2-2 PREPARACIÓN DE LOS REACTIVOS (HIDRÓXIDO DE SODIO Y ACETATO DE ETILO)

FUNDAMENTO	MATERIALES	TÉCNICA	CÁLCULO
<p>Solución.-es una mezcla de dos o más componentes, perfectamente homogénea ya que cada componente se mezcla íntimamente con el otro, de</p>	<p>Balanza</p> <p>3 Balones aforados de 1000 ml</p> <p>2 vaso de precipitación</p>	<p>Pesar los gramos de NaOH según el cálculo realizado para tener 200 ml de solución 0.1M. Colocar la cantidad pesada en el balón y aforar</p>	<p>HIDROXIDO DE SODIO 0.1M</p> <p>$g\ NaOH = [] * PM * V$</p> <p>Donde:</p> <p>[] = Concentración a la</p>

<p>modo tal que pierden sus características individuales. Esto último significa que los constituyentes son indistinguibles y el conjunto se presenta en una sola fase (sólida, líquida o gas) bien definida. La concentración de una solución expresa la relación de la cantidad de soluto a la cantidad de solvente.</p>	<p>de 1000 ml</p> <p>1 Pizeta</p> <p>1 Varilla de Agitación</p> <p>Hidróxido de sodio</p> <p>Acetato de etilo</p> <p>Agua</p>	<p>con agua.</p> <p>Colocar el volumen necesario de Acetato de Etilo para preparar 1000ml de solución 0.1M. Colocar dicho volumen en el balón y aforar con agua. Realizar el mismo procedimiento para preparar otros 1000ml de acetato de etilo 0.1M.</p>	<p>cual queremos la solución (mol/l).</p> <p>PM= Peso molecular del hidróxido de sodio.</p> <p>V = Volumen del balón aforado.</p> <p>ACETATO DE ETILO 0.1M</p> <p>$g \text{ Ac. Etilo} = [] * PM * V$</p> $V_{\text{Ac. Etilo}} = \frac{g \text{ Ac. Etilo}}{\rho \text{ del Ac. Etilo}}$ <p>Donde:</p> <p>[] = Concentración a la cual queremos la solución (mol/l).</p> <p>PM= Peso molecular del acetato de etilo.</p> <p>V = Volumen del balón aforado.</p> <p>ρ del Ac. Etilo = Densidad del Acetato de Etilo (g/cm³)</p>
---	---	---	---

2.3 DATOS ADICIONALES

Tabla 2-3 DATOS ADICIONALES DEL ACETATO DE ETILO

ACETATO DE ETILO		
DATOS	VALOR	UNIDAD
PESO MOLECULAR	88,11	gr/mol
DENSIDAD	0,894	g/cm ³
VISCOSIDAD	0,45	cP

Tabla 2-4 DATOS ADICIONALES DEL HIDRÓXIDO DE SODIO

HIDRÓXIDO DE SODIO		
DATOS	VALOR	UNIDAD
PESO MOLECULAR	39,997	gr/mol

DENSIDAD	2,1	g/cm ³
----------	-----	-------------------

Tabla 2-5 DATOS ADICIONALES DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA DE LOS REACTIVOS Y PRODUCTOS UTILIZADOS EN LA PRÁCTICA

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	VALOR
Capacidad calorífica del NaOH	J/mol K	57.213
Capacidad calorífica del acetato de etilo	J/mol K	169.6
Capacidad calorífica del acetato de sodio	J/mol K	65.07
Capacidad calorífica del etanol	J/mol K	97.49

Fuente: PERRY Robert H, Manual del ingeniero químico.

Tabla 2-6 DATOS ADICIONALES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	VALOR
Conductividad Térmica del acero Inoxidable	J/m ² Sk	50.2

Fuente: PERRY Robert H, Manual del ingeniero químico.

Tabla 2-7 ANÁLISIS FÍSICOS DE LA SOLUCIÓN DE NaOH 0.1M

HIDRÓXIDO DE SODIO 0.1M		
DATOS	VALOR	UNIDAD
DENSIDAD	0,984	g/cm ³
VISCOSIDAD	0,5	Cp (mPa s)

Tabla 2-8 ANÁLISIS FÍSICOS DE LA SOLUCIÓN ACETATO DE ETILO 0.1M

ACETATO DE ETILO 0.1M		
DATOS	VALOR	UNIDAD
DENSIDAD	0,980	g/cm ³ a 20
VISCOSIDAD	0,4	Cp (mPa s)

Tabla 2-9 DATOS OBTENIDOS SIMULANDO EL PROCESO EN EL LABORATORIO

TIEMPO	CONDUCTIVIDAD (μs)
0	11,85
5	7,83
10	5,65
15	4,44
20	4,02
25	3,58
30	3,2
35	3,09
40	2,94
45	2,89
50	2,79
55	2,7
60	2,55
65	2,36
70	2,32
75	2,3
80	2,23
85	2,15
90	2,09
95	2,08
100	2,06

CAPITULO III

3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

3.1 CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL CILINDRO

Asumimos para el diseño del reactor Semicontinuo un diámetro del tanque de reacción de 20cm, donde este nos permite obtener el volumen requerido. Además que debido a la agitación a 500 rpm el fluido de mezcla toma una altura elevada donde este no debe chocar con la tapa hermética por las siguientes razones: el fluido de la mezcla debe estar impulsado radial y tangencialmente sin que exista movimientos verticales con respecto al agitador.

La altura para para construir el cilindro del reactor con los antecedentes mencionados anteriormente es de 30 cm.

$$V_{CR} = \pi \frac{\phi^2}{4} h_R$$

$$V_{CR} = \pi \frac{20^2}{4} 30$$

$$V_{CR} = 9424,77 \text{ cm}^3$$

$$V_{CR} = 9,42 \text{ L}$$

3.2 CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL REACTOR

$$V_R = V_i + Q * t$$

$$V_R = 400 + 22 * 60$$

$$V_R = 1720 \text{ ml}$$

3.3 CÁLCULO DEL DIAMETRO DE LA CÁMARA DE CALEFACCIÓN

El diámetro de diseño de la cámara de calefacción será de 30 cm, es decir 5 cm a cada lado de la pared del cilindro reactor.

$$D_C = \phi + 10$$

$$D_C = 20 + 10$$

$$D_C = 30 \text{ cm}$$

3.3.1 CÁLCULO DEL ALTURA DE LA CÁMARA DE CALEFACCIÓN

La altura de la cámara de la cámara de calefacción será 5 cm más que la altura del cilindro reactor.

$$h_C = h_R + 5$$

$$h_C = 30 + 5$$

$$h_C = 35 \text{ cm}$$

3.3.2 CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL CILINDRO DE LA CÁMARA DE CALEFACCIÓN

$$V_t = \pi \frac{\phi_C^2}{4} h_C$$

$$V_t = \pi \frac{30^2}{4} 35$$

$$V_t = 24740,04 \text{ cm}^3$$

3.3.3 CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA CÁMARA DE CALEFACCIÓN

$$V_C = V_t - V_{CR}$$

$$V_C = 24740,04 - 9424,77$$

$$V_C = 15315,27 \text{ cm}^3$$

$$V_C = 15,31527 \text{ L}$$

3.4 CÁLCULOS PARA EL SISTEMA DE AGITACIÓN

3.4.1 CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL RODETE

La longitud total de un rodete de palas es del orden del 50 a 80 % del diámetro interior del tanque.³

$$L = \phi * 0.6$$

$$L = 20 * 0.6$$

$$L = 12 \text{ cm}$$

³Warm L. Mc Cabe

3.4.2 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL RODETE

$$\frac{D_a}{\phi} = \frac{1}{3}$$

$$D_a = \frac{\phi}{3}$$

$$D_a = \frac{20}{3}$$

$$D_a = 7 \text{ cm}$$

3.4.3 CÁLCULO DE LA ALTURA DEL RODETE

$$E = \frac{L}{3}$$

$$E = \frac{12}{3}$$

$$E = 4 \text{ cm}$$

3.4.4 CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE LAS PALETAS

3.4.4.1 CÁLCULO DE LA ALTURA DE LA PALETA

$$\frac{W}{\phi} = \frac{1}{5}$$

$$W = \frac{20}{5}$$

$$W = 4 \text{ cm}$$

3.4.4.2 CÁLCULO DEL ANCHO DE LA PALETA

$$\frac{T}{\phi} = \frac{1}{5}$$

$$T = \frac{20}{5}$$

$$T = 4 \text{ cm}$$

3.5 CÁLCULO DE LA POTENCIA PARA ACCIONAR EL RODETE

3.5.1 CÁLCULO DE LA DENSIDAD Y VISCOSIDAD DE LA MEZCLA

$$\rho_{mezcla} = \rho_{NaOH} * X_{NaOH} + \rho_{AcEt} * X_{AcEt}$$

$$\mu_{mezcla} = \mu_{NaOH} * X_{NaOH} + \mu_{AcEt} * X_{AcEt}$$

3.5.2 CÁLCULO DE LAS FRACCIONES MOLARES

nNaOH= 0,04 moles

nAcEt:=0,1 moles

ntotales=0,14 moles

$$X_{NaOH} = \frac{n_{NaOH}}{ntotales} = \frac{0,04}{0,14} = 0,29$$

$$X_{AcEt} = \frac{n_{AcEt}}{ntotales} = \frac{0,1}{0,14} = 0,71$$

$$\rho_{mezcla} = 0,984 * 0,29 + 0,980 * 0,71$$

$$\rho_{mezcla} = 0,981 \frac{g}{cm^3}$$

$$\mu_{mezcla} = 0,5 * 0,29 + 0,4 * 0,71$$

$$\mu_{mezcla} = 0,429 \text{ cP}$$

3.5.3 CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS

Transformamos la densidad de la mezcla g/cm³ a lb/ft³, la viscosidad de cP a lb/ft-s y el diámetro del reactor en pies.

$$N_{Re} = \frac{\phi^2 * n * \rho}{\mu}$$

$$N_{Re} = \frac{0,656^2 * 8,4 * 61,24}{2,88 \times 10^{-4}}$$

$$N_{Re} = 768651,8187$$

$$N_{Re} = 7,7 \times 10^5$$

Donde n es el número de revoluciones

3.5.4 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL AGITADOR

$$P = \frac{N_p * n^3 * D_a^5 * \rho_{mezcla}}{g_c}$$

Donde:

Np: número de potencia

n: revoluciones por segundo

\emptyset : diámetro del reactor (pies)

gc: gravedad específica (pies/s²)

ρ_{mezcla} : densidad de la mezcla (lb/pie³)

Por medio de la gráfica de correlaciones de potencia para rodets específicos tomando en cuenta la curva D que es para un tanque sin placas deflectoras $S_4 = 0.25$. Para tanques sin placas deflectoras el valor de N_p igual a 1 que se obtiene de la Figura 9.13 pagina 259 tomado Geankoplis C J. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias.

$$N_p = N_p * N_{Fr}^m$$

Donde

N_{Fr} : número de Froude (se utiliza cuando no se colocan placas deflectoras debido a que el eje no se encuentra en el centro del reactor).

m: exponente relacionado empíricamente con el N_{Re}

$$N_{Fr} = \frac{n^2 * D_a}{g}$$

Donde:

D_a : diámetro del rodete(cm)

g: gravedad (m/s²)

$$N_{Fr} = \frac{8,4^2 * 0,656}{32,17}$$

$$N_{Fr} = 1,438$$

$$m = \frac{a - \log_{10} * N_{Re}}{b}$$

Donde:

a y b son constantes de la tabla 9.1 tomado de Geankoplis C J. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias.

$$m = \frac{1 - \log_{10} * 7,7x10^5}{40}$$

$$m = -0,12$$

$$N_p = 1 * 1,438^{-0,12}$$

$$N_p = 0,957$$

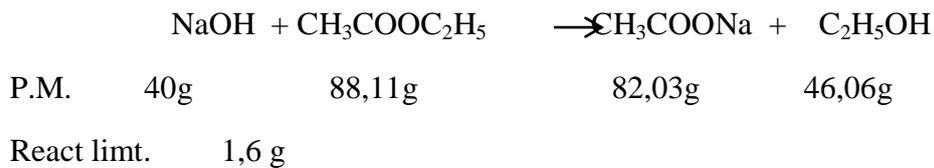
$$P = \frac{0,957 * 8,4^3 * 0,656^5 * 61,24}{32,17}$$

$$P = 131,18 \frac{pie - lb}{s} = 0,24 HP$$

Tabla 3-1 RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR

CÁMARA DE REACCIÓN		
DESCRIPCIÓN	RESULTADO	UNIDADES
Volumen (VCR)	9,42	L
Altura (h)	30	cm
Diámetro(Ø)	20	cm
CÁMARA DE CALEFACCIÓN		
DESCRIPCIÓN	RESULTADO	UNIDADES
Volumen (VC)	15,31527	L
Altura (hc)	35	cm
Diámetro(Dc)	30	cm
SISTEMA DE AGITACIÓN		
Longitud del rodete(L)	12	cm
Diámetro del rodete(Da)	7	cm
Altura del rodete (E)	4	cm
Altura de la paleta(W)	4	cm
Potencia(P)	0,24	HP

3.6 CALCULO DEL BALANCE DE MASA



$$E = S$$

$$40 + 88,11 = 82,03 + 46,06$$

$$128,11 = 128,09$$

$$1,6 \text{ g NaOH} * \frac{82,02 \text{ g CH}_3\text{COONa}}{40 \text{ g NaOH}} = 3,282 \text{ g CH}_3\text{COONa}$$

$$1,6 \text{ g NaOH} * \frac{46,06 \text{ g C}_2\text{H}_5\text{OH}}{40 \text{ g NaOH}} = 1,8424 \text{ g C}_2\text{H}_5\text{OH}$$

$$\text{masa total de productos} = 5,1244 \text{ g}$$

3.7 CÁLCULO DEL BALANCE DE ENERGÍA

Como la reacción se da a 20 °C despreciamos las pérdidas de calor hacia el exterior y obviamos un balance de energía simultáneo, entonces calcularemos la energía necesaria para que la transferencia de calor hacia los reactivos sea de 20 °C.

$$Q_{H_2O} = m_{H_2O} * C_{p_{H_2O}} * \Delta T_{H_2O}$$

$$m_{H_2O} = \rho_{H_2O} * V_{H_2O}$$

$$m_{H_2O} = 0,99829 * 15315,25$$

$$m_{H_2O} = 15289,08 \text{ g} = 15,289 \text{ Kg}$$

$$Q_{H_2O} = 15,289 * 4,182 * (293 - 289)$$

$$Q_{H_2O} = 255,75 \text{ KJ} = 61,08 \text{ Kcal}$$

3.8 CÁLCULO DE LA CINÉTICA DE REACCIÓN

Ensayo realizado a concentración de 0.1M de NaOH y 0.1M de Acetato de Etilo en un tiempo de 60 minutos.

Tabla 3-2 DATOS OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE EN EL REACTOR SEMICONTINUO

TIEMPO	pH	CONDUCTIVIDAD (µs)	VOLUMEN INICIAL DE NaOH 0.1M (ml)	VOLUMEN CONSUMIDO DE ACETATO DE ETILO 0.1M (ml)	VOLUMEN DEL PRODUCTO(ml)
0	12,8	21	400	1340	1740
5	12,39	11,64			
10	12,24	8,09			
15	12,03	5,65			
20	11,65	4,25			
25	10,88	3,6			

30	10,65	3,14			
35	10,17	3,02			
40	10,14	2,76			
45	9,86	2,41			
50	9,79	2,27			
55	9,78	2,17			
60	9,78	2,11			
65	9,74	1999			

Ensayo realizado a concentración de 0.05M de NaOH y 0.05M de Acetato de Etilo en un tiempo de 30 minutos. Estos datos servirán para realizar la curva de calibración a esta concentración, mas no para el cálculo de las diferentes variables.

Tabla 3-3 DATOS OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE EN EL REACTOR SEMICONTINUO A 0,5M DE NaOH

TIEMPO	pH	CONDUCTIVIDAD (µs)	VOLUMEN CONSUMIDO DE NaOH 0.1M (ml)	VOLUMEN CONSUMIDO DE ACETATO DE ETILO 0.1M (ml)	VOLUMEN DEL PRODUCTO(ml)
0	12,5	10,17	400	600	1000
5	12,28	6,11			
10	12,03	4,73			
15	11,74	3,15			
20	11,61	2,45			
25	11,23	2,14			
30	10,76	1968			

3.9 CONSTANTE TEÓRICA DE VELOCIDADDE LA SAPONIFICACIÓN DEL ACETATO DE ETILO CON NaOH EN UN REACTOR SEMICONTINUO

La constate teórica de saponificación a 25°C es⁴:

$$k = 2,083 \frac{L}{mol \min}$$

3.10 CÁLCULO DE LA CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCIÓN EXPERIMENTAL EN EL REACTOR SEMICONTINUO

La ecuación 3-32 Podemos calcular la concentración en un tiempo t en función de la conductividad⁵.

⁴ LEVENSPIEL, Octave. "Ingeniería de las reacciones Químicas". 3ra edición, Pp 668.

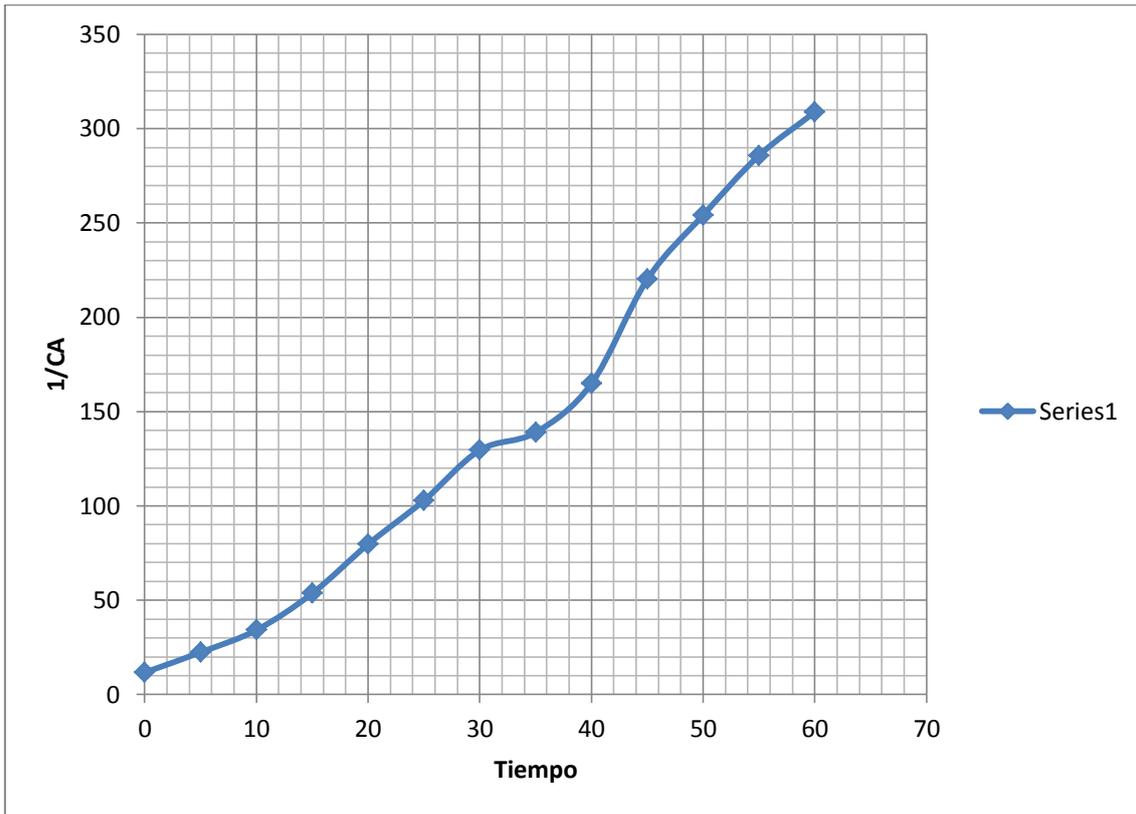
Como la reacción de saponificación del acetato de etilo con hidróxido de sodio es una reacción irreversible de segundo orden global y de orden uno con respecto a cada uno de los reactivos postulamos de la siguiente manera:

Tabla 3-4 DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DE VELOCIDAD

TIEMPO	pH	CONDUCTIVIDAD (μs)	CONCENTRACIÓN	1/CA
0	12,8	21	0,08541	11,7082309
5	12,39	11,64	0,044694	22,3743679
10	12,24	8,09	0,0292515	34,186281
15	12,03	5,65	0,0186375	53,6552649
20	11,65	4,25	0,0125475	79,6971508
25	10,88	3,6	0,00972	102,880658
30	10,65	3,14	0,007719	129,55046
35	10,17	3,02	0,007197	138,946783
40	10,14	2,76	0,006066	164,853281
45	9,86	2,41	0,0045435	220,094641
50	9,79	2,27	0,0039345	254,161901
55	9,78	2,17	0,0034995	285,755108
60	9,78	2,11	0,0032385	308,784931

⁵ GONZALEZ, Velasco. "Cinética Química Aplicada". Año 1999 Madrid, Pp 227.

Figura 3-1 TIEMPO VS 1/CA



FUENTE:ALDÁS F, VIVAR G.

$$-r_A = kC_A C_B$$

$$-r_A = kC_A^2$$

$$-\frac{dC_A}{dt} = kC_A^2$$

Integrando tenemos:

$$k = \frac{\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}}}{t - t_0}$$

$$k = \frac{22.374 - 11.708}{5 - 0}$$

$$k = 2,1332 \frac{L}{mol \cdot min}$$

3.11 CÁLCULO DE LA CONVERSIÓN REAL DEL ACETATO DE ETILO E HIDRÓXIDO DE SODIO A LO LARGO DEL REACTOR

$$X_{AcEt} = \frac{V_0 * C_{NaOHo} - C_{NaOHf} * (V_0 + Q * t)}{Q * C_{AcEt} * t}$$

$$X_{AcEt} = \frac{0,4 * 0,1 - 0,0032385 * (0,4 + 0,022 * 60)}{0,022 * 0,1 * 60}$$

$$X_{AcEt} = 0,26$$

$$X_{NaOH} = \frac{V_0 * C_{NaOHo} - C_{NaOHf} * (V_0 + Q * t)}{V_0 * C_{NaOHo}}$$

$$X_{NaOH} = \frac{0,4 * 0,1 - 0,0032385 * (0,4 + 0,022 * 60)}{0,4 * 0,1}$$

$$X_{NaOH} = 0,86$$

3.12 CÁLCULO DE LA CONVERSIÓN IDEAL DEL HIDRÓXIDO DE SODIO A LO LARGO DEL REACTOR

$$C_A = C_{A0}(1 - X_A)$$

$$X_A = \frac{C_{A0} - C_A}{C_{A0}}$$

$$X_A = \frac{0,1 - 0,000704518}{0,1}$$

$$X_A = 0,99$$

3.13 CÁLCULO DEL TIEMPO ESPACIAL

$$\tau = \frac{V}{v_o}$$

$$\tau = \frac{1340}{20}$$

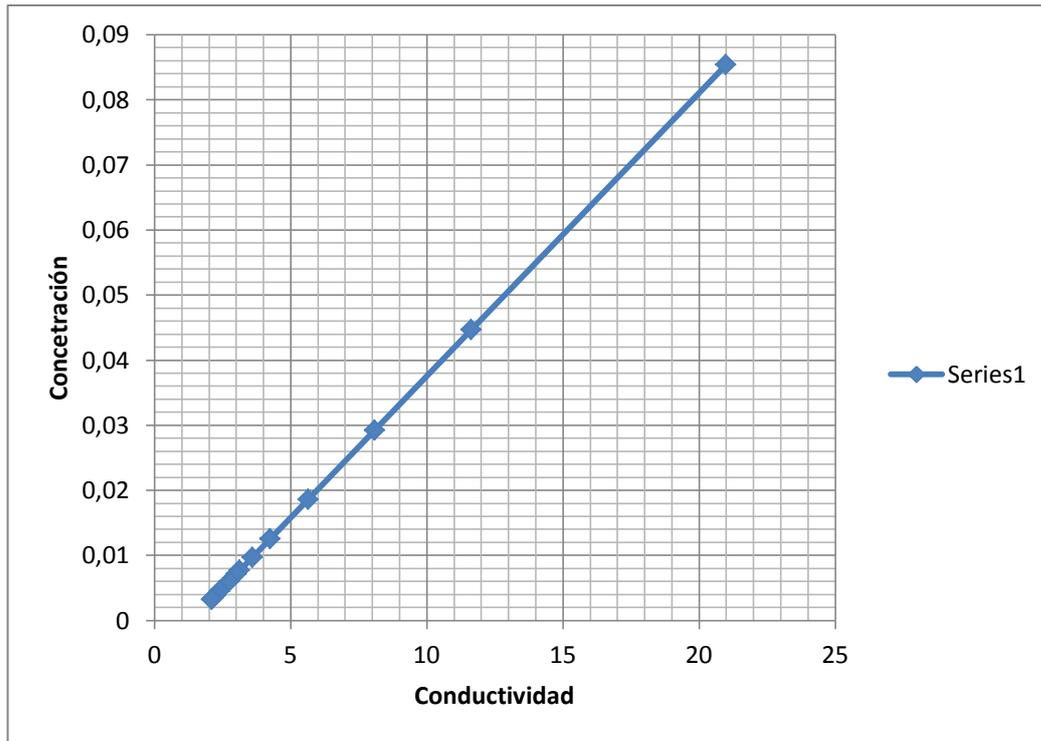
$$\tau = 67 \text{ min}$$

3.13.1 CURVA DE CALIBRACIÓN PARA UN REACTOR SEMICONTINUO A 0.1M DE ACETATO DE ETILO E NaOH.

Tabla 3-5 DATOS PARA LA CALIBRACIÓN DE UN REACTOR SEMICONTINUO A 0.1M DE ACETATO DE ETILO E NaOH.

CONDUCTIVIDAD (μ s)	CONCENTRACIÓN
21	0,08541
11,64	0,044694
8,09	0,0292515
5,65	0,0186375
4,25	0,0125475
3,6	0,00972
3,14	0,007719
3,02	0,007197
2,76	0,006066
2,41	0,0045435
2,27	0,0039345
2,17	0,0034995
2,11	0,0032385
1999	8,68971

Figura 3-2 CURVA DE CALIBRACIÓN CONDUCTIVIDAD VS CONCENTRACIÓN A 0,1M



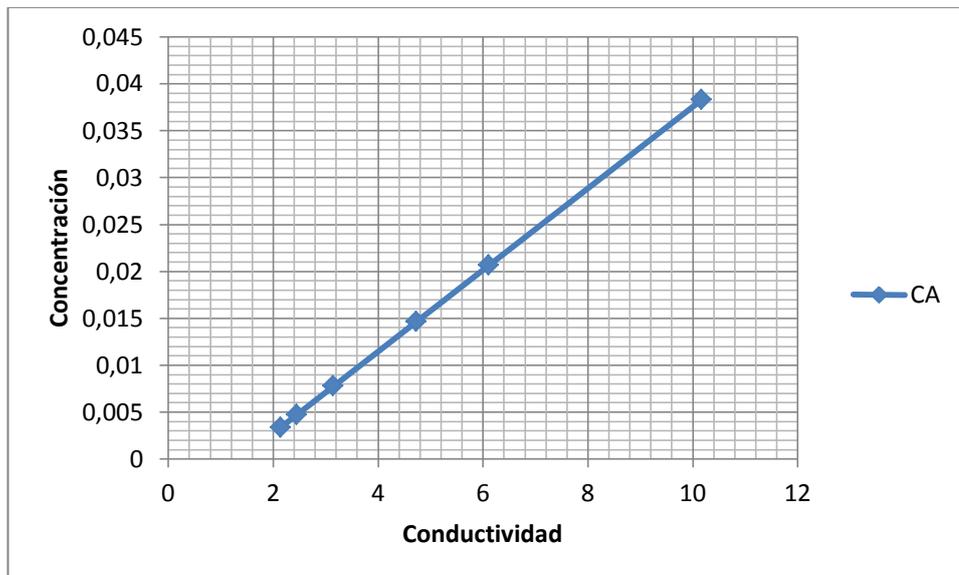
FUENTE: ALDÁS F, VIVAR G.

3.14 CURVA DE CALIBRACIÓN PARA UN REACTOR SEMICONTINUO A 0.05 M DE ACETATO DE ETILO Y 0.05 M NaOH.

Tabla 3-6 DATOS PARA LA CALIBRACIÓN DE UN REACTOR SEMICONTINUO A 0.05 M DE ACETATO DE ETILO Y 0.05 M NaOH.

CONDUCTIVIDAD (μ s)	CA
10,17	0,0382995
6,11	0,0206385
4,73	0,0146355
3,15	0,0077625
2,45	0,0047175
2,14	0,003369
1968	8,55486

Figura 3-3 CURVA DE CALIBRACIÓN CONDUCTIVIDAD VS CONCENTRACIÓN A 0,5 M



FUENTE: ALDÁS F, VIVAR G.

3.15 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN IDEAL CON LA CONCENTRACIÓN REAL

Con la ecuación diferencial 3-6

$$\frac{dC_A}{dt} + \left(\frac{1}{\tau} + k\right)C_A = \frac{C_{A0}}{\tau}$$

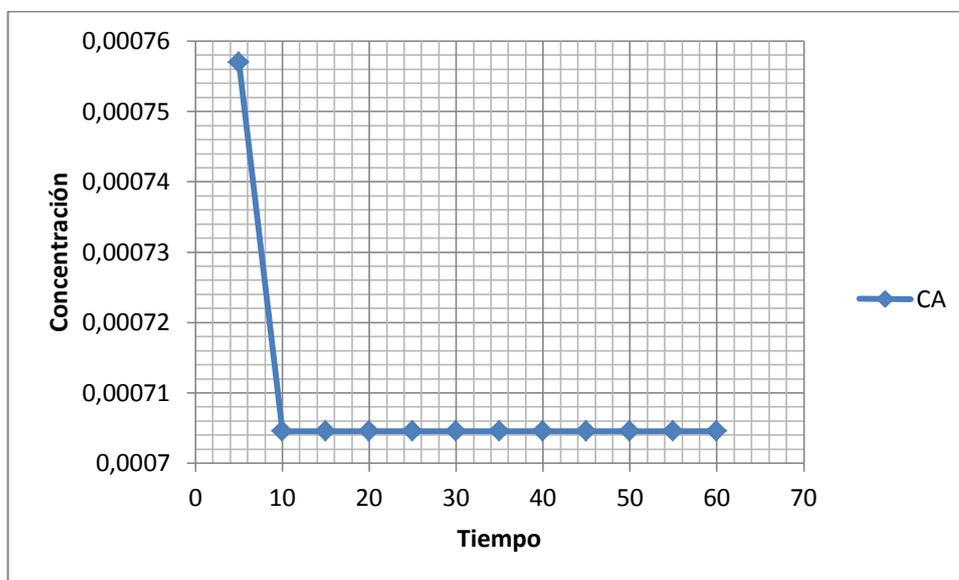
Integrando tenemos la variación de la concentración en función del tiempo en el interior del reactor:

$$C_A = k e^{-\left(\frac{1}{\tau} + k\right)t} + \frac{C_{A0}}{(1 + k \tau)}$$

Tabla 3-7 CONCENTRACIÓN IDEAL EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

TIEMPO	C_A
5	0,000756986
10	0,000704519
15	0,000704518
20	0,000704518
25	0,000704518
30	0,000704518
35	0,000704518
40	0,000704518
45	0,000704518
50	0,000704518
55	0,000704518
60	0,000704518

Figura 3-4 CONDUCTIVIDAD VS CONCENTRACIÓN A 0,1 M



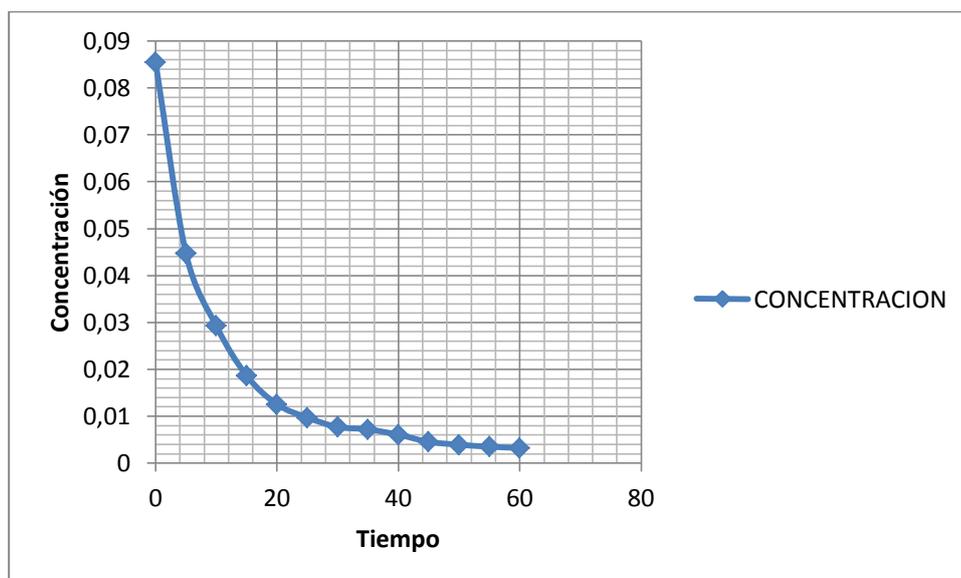
FUENTE: ALDÁS F, VIVAR G.

Con los datos experimentales tenemos:

Tabla 3-8 DATOS DE CONCENTRACIÓN REAL EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

TIEMPO	CONCENTRACIÓN
0	0,08541
5	0,044694
10	0,0292515
15	0,0186375
20	0,0125475
25	0,00972
30	0,007719
35	0,007197
40	0,006066
45	0,0045435
50	0,0039345
55	0,0034995
60	0,0032385

Figura 3-5 CONCENTRACIÓN VS TIEMPO A 0,1 M



FUENTE: ALDÁS F, VIVAR G.

3.16 RESULTADOS FINALES

Tabla 3-9 RESULTADO DE LA CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REACCIÓN

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	UNIDADES
k Teórica	2,083	L/mol min
k Experimental	2,1332	L/mol min

Tabla 3-10 RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN FINAL DE NaOH Y CONVERSIÓN DE LOS REACTANTES

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	UNIDADES
Concentración NaOH	0,0032385	mol/L
Conversión NaOH	86	%
Conversión Ac. Et	26	%

3.17 ANÁLISIS Y DISCUSIONDE RESULTADOS

Para demostrar el funcionamiento del Reactor Semicontinuo desarrollamos la reacción de saponificación del Acetato de Etilo con hidróxido de Sodio para dar como resultado Acetato de Sodio como producto principal y etanol como secundario, con la ayuda de una chaqueta de calefacción logramos mantener el interior del reactor a una temperatura constante de 25 °C, temperatura a la cual se desarrolla normalmente la reacción de saponificación.

Otro aspecto a tomar en cuenta son los dos tipos de operación semicontinua en las que puede trabajar el reactor químico; los dos modos de operación presentan una carga inicial de reactivo A al reactor, y se añade lentamente el reactivo B dejando reaccionar por un instante de tiempo, la diferencia es la extracción del producto que puede ser de manera continua o sin extracción hasta obtener las conversiones y concentraciones deseadas. En nuestro caso cargaremos inicialmente el reactor químico con 400 ml. De Hidróxido de Sodio 0.1 M y añadimos Acetato de Etilo 0.1M a razón de 22 ml/min a temperatura constante y mediante agitación a 500 RPM, la forma de extracción del producto es dejando que la reacción finalice, comprobando que la medición de la conductividad del medio de reacción permanezca constante cuyo último valor fue de 2,11 μ S dando una concentración

final $C_A=0,0032385$ M de reactivo limitante, es decir de NaOH en un tiempo de contacto de 60 minutos con un porcentaje de conversión del reactivo limitante de 86% y una constante de velocidad de reacción experimental de 2,1332 L/mol min.

Para comparar la concentración Real e Ideal dentro del reactor tomaremos en cuenta los datos finales de concentración de reactivo limitante NaOH; $C_{NaOH\ REAL}=0.0032385$ M y $C_{NaOH\ IDEAL}=0.000704518$ M. La concentración final de reactivo limitante NaOH ideal es menor a la real debido a que el comportamiento del reactor ideal supone que el fluido tiene propiedades como: composición, temperatura idénticas en todos los puntos del reactor y que la agitación es tal que existe mezcla en todos los puntos del reactor por lo que su conversión es ideal y superior a la real.

Mientras que en el comportamiento real del reactor los tiempos de residencia de las moléculas de fluido no son iguales para todo el liquido al igual que la velocidad a la cual el fluido modifica su composición, además existen varios factores que influyen en la idealidad como: diseño geométrico del reactor, mezclado y agitación, viscosidad del fluido, los espacios muertos que son aquellas zonas donde el fluido se mueve con mucha lentitud comparado con el resto y existe muy poco transporte de masa por difusión molecular lo que impide la transformación de reactivos y su conversión de forma ideal.

3.18 REQUERIMIENTOS PRESUPUESTARIOS

3.18.1 RECURSOS HUMANOS

Tabla 3-11 REQUERIMIENTO DE RECURSOS HUMANOS

NÚMERO	RECURSO	FUNCIÓN
2	Proponentes	Ejecutores del proyecto de tesis
1	Director de tesis	Asesoramiento
1	Colaborador de tesis	Asesoramiento complementario y Asesoramiento en la problemática

3.18.2 MATERIALES

Tabla 3-12 REQUERIMIENTO DE RECURSOS PARA MATERIALES

ITEM	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
MATERIAL DE OFICINA			
Impresión	1000	0,10	100,00
Anillados	8	4,00	32,00
Empastado	3	25,00	75,00
Fotocopias	500	0,02	10,00
CD	2	1,50	3,00
Subtotal			220,00
REACTIVOS EMPLEADOS			
Acetato de Etilo	1 lts.	50,00	50,00
Hidróxido de Sodio	13gr.	Existente en bodega	
Ensayos para la calibración del equipo	3	10	30
Subtotal			80,00
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR SEMICONTINUO			
Diseño	1	50,00	50,00
Construcción	1	1600	1600
Subtotal			1650,00
TOTAL			1950,00

3.18.3 ECONÓMICOS

Tabla 3-13 REQUERIMIENTO ECONÓMICO TOTAL

RECURSO	MONTO (\$)
Recurso materiales	1950,00
Imprevistos (10%)	195,00
TOTAL	2145,00

3.18.4 PRESUPUESTO

3.18.4.1 FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Tabla 3-14 FUENTE DE FINANCIAMIENTO

RECURSO	MONTO (\$)	%
Propio	2145,00	100
TOTAL	2145,00	100

CAPITULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- ❖ Se diseñó un reactor semicontinuo a escala de laboratorio que consta de un tanque cerrado, una chaqueta de calefacción y un tanque de alimentación en acero inoxidable de grado alimenticio de 2mm de espesor, con una agitación en el interior del reactor de 500 RPM y dos válvulas de salida para purga del fluido de calefacción (H_2O) y para la extracción del producto final de reacción.
- ❖ La simulación del reactor Semicontinuo a nivel del laboratorio arrojó datos con los cuales partimos para el diseño y construcción del mismo, debiendo indicar que el tiempo de fin de reacción fue mayor del esperado debido a que el sistema de agitación magnética usado no realizaba una mezcla homogénea debido a que este se encontraba en el centro del vaso de precipitación creando una especie de torbellino, por lo que era necesario los deflectores.
- ❖ Las concentraciones y caudales de los reactivos al inicio de la reacción fueron: 400 ml de NaOH 0.1M y un caudal de alimentación de Acetato de Etilo 0.1M de 22 mililitros por minuto todo esto a una temperatura constante de 25 °C.
- ❖ Determinadas las condiciones de trabajo, construimos un Reactor de tipo Semicontinuo con una chaqueta de calefacción controlada por una termocupla que va en paralelo a un termostato de regulación de temperatura, el diámetro del tanque de calefacción es de 30 cm y una altura de 35 cm. Mientras que el tanque interior o tanque de reacción es de tipo cilíndrico con un diámetro 20 cm. y una altura de 30 cm, en el interior del reactor constará de un rodete de tipo paleta de 7 cm de diámetro y 12 cm de longitud unido a un eje accionado por un motor eléctrico monofásico con una potencia para accionar el agitador de 0,24 HP.

- ❖ El final de la reacción de saponificación se produjo a los 60 minutos obteniéndose una concentración final del reactivo limitante $C_{\text{ANaOH}} = 0,00332385 \text{ M}$ que representa una conversión del 86%.
- ❖ Para llegar a la conversión indicada en el punto anterior se consumieron las siguientes volúmenes de reactivos: un volumen consumido de Acetato de Etilo de 1340 mililitros necesarios para reaccionar con un volumen inicial de 400 ml de Hidróxido de Sodio dando un volumen final de 1740 mililitros de Acetato de Sodio y Etanol.
- ❖ Existe una diferencia del 7% entre la conversión ideal y la real, debido a que existe muy poco transporte de masa por difusión molecular debido a que la agitación no es perfecta, lo que impide la transformación de reactivos y su conversión de forma ideal. Por tal razón la conversión en el reactor ideal es mayor sin embargo sabemos que no existen reactores ideales tan solo podemos construir reactores reales.

4.2 RECOMENDACIONES

- ❖ Recomendamos preparar la solución de Hidróxido de Sodio inmediatamente después de haber pesado la cantidad necesaria debido a que el reactivo es de carácter higroscópico y absorbe la humedad del aire.
- ❖ Al preparar la solución de hidróxido de sodio mantener fuera del alcance de materiales combustibles ya que cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido libera una gran cantidad de calor que puede ser suficiente como para encender dichos materiales.
- ❖ Al preparar la solución de Acetato de Etilo colocar una cantidad aproximada en otro recipiente para su utilización y así evitar contaminación en el reactivo que es de gran pureza.
- ❖ Utilizar antes de realizar prácticas en el reactor su respectivo mandil y EPPS de seguridad, debido al fuerte olor y su irritación al contacto con los reactivos.
- ❖ La chaqueta del reactor debe estar a la temperatura de reacción antes de cargar los reactivos para comenzar el proceso con la temperatura requerida al instante.
- ❖ Utilizar reactivos de alta pureza para desarrollar perfectamente la reacción de saponificación para obtener medidas y resultados coherentes.

- ❖ Otra reacción sugerida para el reactor Semicontinuo es la síntesis del bromuro de metilo utilizando como reactivos el cianuro de bromo y metilamina.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- FOGLER, H. SCOTT.,** Elementos de ingeniería de las reacciones químicas., 3^{ra} Edición., New Jersey-Estados Unidos., Prentice-Hall., 2001., Pp. 190-197.

- 2.- GONZALEZ, J.,** Cinética química aplicada., 1^{ra} Edición., Madrid-España., Síntesis., 2004., Pp. 175-179.

- 3.- SMITH, J.M.,** Ingeniería de la cinética química., 1^{ra} Edición., DF-México., MacGram-Hill., 1992., Pp. 139-144.

- 4.- LEVENSPIEL, OCTAVE.,** Ingeniería de las reacciones químicas, 2^{da} Edición., Barcelona-España., Reverté., 1987., Pp. 200-207.

- 5.- DENBIGH, K.G.,** Introducción a la teoría de los reactores químicos., 3^{ra} Edición., Londres-Inglaterra., Limusa., 1986., Pp. 158-163.

INTERNET

1. BAÑO TERMOTATIZADO

Vida invisible [foro]. *Baño Termostatizado*. 19 de Abril del 2011.

Disponible en Web

en:<<http://www.vidainvisible.com/foro/index.php?topic=62.0>>.

2. DATOS SOBRE EL ACETATO DE ETILO

Universidad Nacional Autónoma de México. *Datos Técnicos del Acetato de Etilo*. 7 de Mayo 2008. México. Disponible en Web

en:<<http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/8acetatodeetilo.pdf>>

3. DISEÑO DE UN REACTOR

SlideShare. *Diseño de Reactores*. 26 de Marzo del 2011. Estados Unidos (San Francisco). Disponible en Web

en:<<http://es.slideshare.net/lmidarragabc/diseo-de-reactores-7398229>>.

4. ECUACIONES PARA TANQUES AGITADOS DE TIPO CERRADOS

Tejero Javier. *Ecuaciones para Reactores* (apuntes). Universidad de Barcelona. España 2010. Disponible en Web

en:<<http://www.ensayosreactores.com/ensayos/Tanques-Agdosipos-De-Impulsores/3285101.html>>.

5. INFORMACIÓN DEL HIDRÓXIDO DE SODIO

Ecured. *Hidróxido de Sodio*. 17 Abril 2004. Cuba. Disponible en

Web en:<http://www.ecured.cu/index.php/HiB3xido_de_Sodio>.

6. MECANISMO DE LA SAPONIFICACIÓN

Ing. Roque Masciarelli - Ing. Silvia Stancich - Ing. Stoppani Fernando. Universidad tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario.

Hidrólisis alcalina de acetato de etilo en un reactor tubular continuo. Argentina 2013. Disponible en Web en: <<http://www.slideshare.net/DarckingCCH/que-es-la-saponificacion>>.

7. OPERACIÓN UNITARIA DE LA AGITACIÓN

Aula Virtual Operaciones Unitarias. *Agitación y Mezcla*. México 2012. Disponible en Web en:

<<http://www.operacionesunitarias.wikispaces.com/file/view/agitacion.doc>>.

8. REACTORES CONTINUOS

La Ingeniería Química desde otra Óptica. *Introducción a los Reactores Químicos. Reactores Continuos*. 28 de Febrero 2013. Disponible en Web en: <<http://mezclazeotropica.blogspot.com/2013/02/introduccion-los-reactores-quimicos.html>>.

9. SISTEMA DE AGITACIÓN

García D. *Hidrodinámica en tanques agitados con turbinas de disco con paletas plana*. Departamento de Desarrollo Tecnológico. Centro de Química Farmacéutica. Cuba (Habana). 15 de Mayo 2006. Disponible en Web en: <<http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n38/n38a09>>.

10. TIPOS DE REACTORES QUÍMICOS

SlideShare. *Tipos de Reactores Químicos*. 9 de Septiembre del 2011. Colombia (Medellin). Disponible en Web en: <<http://es.slideshare.net/IsraelCaballero1/reactores-quimicos-9193771>>.

11. VELOCIDAD DE REACCIÓN

ARÉVALO B. ULISES. *Velocidad de reacción* [en línea]. Químico. Profesor en Ciencias. México (Michoacán). Febrero 2009. Disponible en Web en:<<http://cienciasenbachillerato.blogspot.com/2011/05/velocidad-de-reaccion-y-equilibrio.html>>

ANEXOS

Anexo 1 FICHA TÉCNICA DEL HIDRÓXIDO DE SODIO

Nombre (IUPAC) sistemático	Hidróxido de sodio
General	Hidróxido sódico, Soda cáustica, Sosa cáustica, Sosa lejía, Jabón de piedra, E-524, Hidrato de sodio.
Fórmula molecular	NaOH
Propiedades físicas	
Estado de agregación	Sólido
Apariencia	Blanco
Densidad	2100 kg/m ³ ; 2,1 g/cm ³
Masa molar	39,99713 g/mol
Punto de fusión	591 K (318 °C)
Punto de ebullición	1663 K (1390 °C)
Propiedades químicas	
Solubilidad en agua	111 g/100 ml (20 °C)
Termoquímica	
$\Delta_f H^0_{\text{gas}}$	-197,76 kJ/mol
$\Delta_f H^0_{\text{líquido}}$	-416,88 kJ/mol
$\Delta_f H^0_{\text{sólido}}$	-425,93 kJ/mol
$S^0_{\text{gas, 1 bar}}$	228,47 J·mol ⁻¹ ·K
$S^0_{\text{sólido}}$	{{{SOS}}} J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹
Peligrosidad	
NFPA 704	
Riesgos	
Ingestión	Puede causar daños graves, permanentes al sistema gastrointestinal o fatales para la persona.
Inhalación	Irritación con pequeñas exposiciones, puede ser dañino o mortal en altas dosis.
Piel	Peligroso los síntomas van desde irritaciones leves hasta úlceras graves.
Ojos	Peligroso. Puede causar quemaduras, daños a la córnea o conjuntiva.

Anexo 2 FICHA TÉCNICA DEL ACETATO DE ETILO

Nombre (IUPAC) sistemático	Acetato de Etilo Etanoato de Etilo
General	Acetato de etilo; acetidina.
Fórmula Semidesarrollada	CH ₃ COOCH ₂ -CH ₃
Fórmula Molecular	C ₄ H ₈ O ₂
Propiedades físicas	
Estado de agregación	Líquido incoloro, de olor característico.
Densidad	900 kg/m ³ ; 0,9 g/cm ³
Masa molar	88,11 g/mol
Punto de fusión	189 K (-84 °C)
Punto de ebullición	350 K (77 °C)
Viscosidad	0,45cP a 20 °C
Índice de Refracción	1,3724 a 20 °C
Propiedades químicas	
Solubilidad en agua	8,7% a 20 °C
Momento Dipolar	1,88 a 25 °C
Peligrosidad	
NFPA 704	
Riesgos	
Altamente inflamable	
Ingestión	Dolor abdominal, vértigo, náusea, dolor de garganta, debilidad.
Inhalación	Tos, vértigo, somnolencia, dolor de cabeza, náusea, jadeo, dolor de garganta, pérdida de conocimiento, debilidad.
Piel	Enrojecimiento, dolor.
Dosis Semiletal	11,3 g/Kg, rat.

Anexo 3 FICHA TÉCNICA DEL ACETATO DE SODIO

Nombre (IUPAC) sistemático	Acetato de Sodio Etanoato de Sodio
General	Acetato de Sodio
Fórmula Semidesarrollada	NaCH ₃ COO
Fórmula Molecular	NaC ₂ H ₃ O ₂
Propiedades físicas	
Densidad	1450 kg/m ³ ; 1,45 g/cm ³
Punto de ebullición	610 K(337 °C)

Anexo 4 SIMULADOR DEL REACTOR SEMICONTINUO A ESCALA DE LABORATORIO



a)

NOTAS		CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	SIMULADOR DEL REACTOR SEMICONTINUO A ESCALA DELABORATORIO		
a) Simulación del reactor Semicontinuo con un sistema de agitación de imanes.	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA			
	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por Aprobar	FERNANDO ALDÁS GABRIEL VIVAR	Lámina	Escala	Fecha

	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para Información		1	A4	7/04/2014
--	--	--	---	----	-----------

Anexo 5 REACTOR SEMICONTINUO

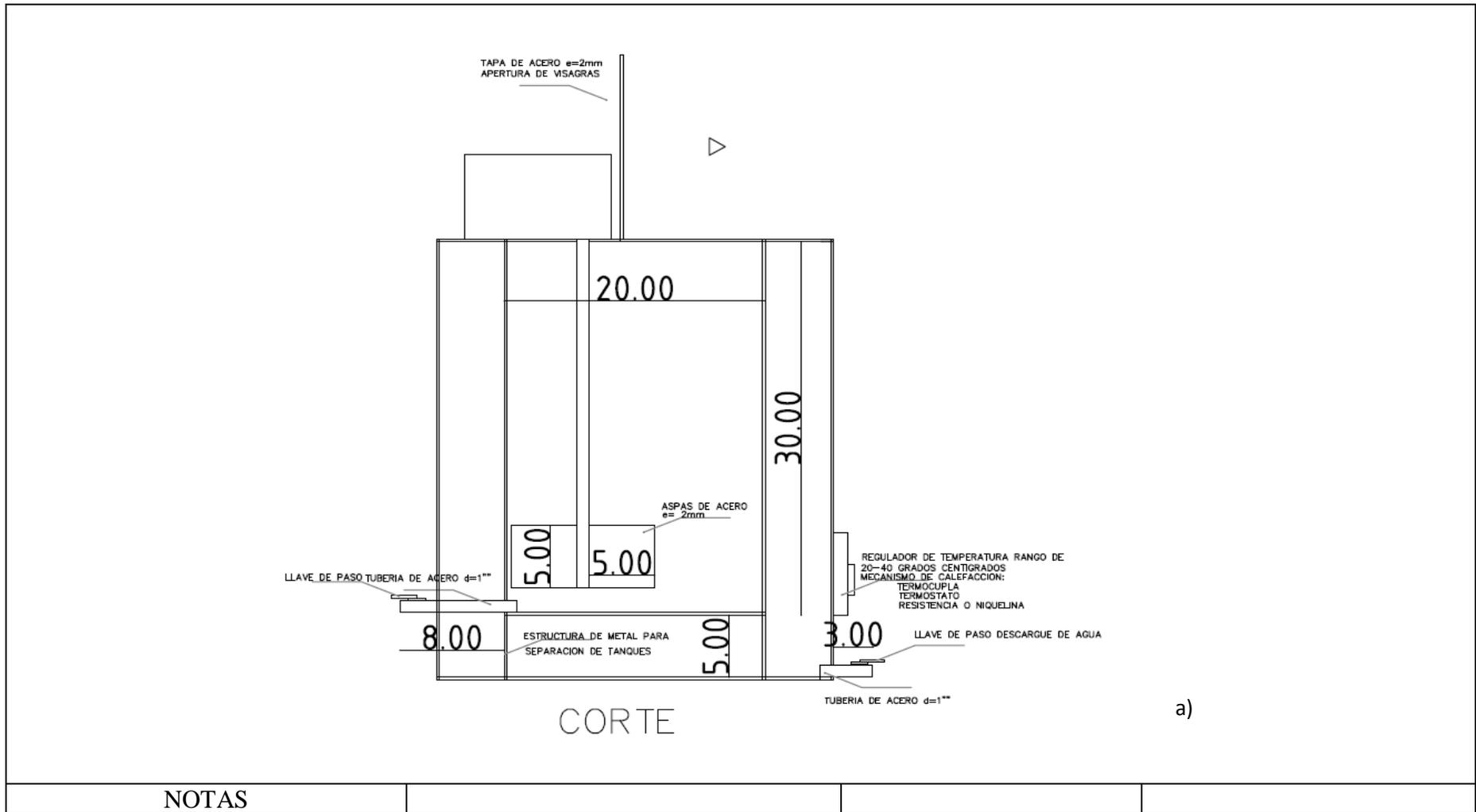


a)

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	REACTOR SEMICONTINUO
a) Reactor	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	

Semicontinuuoconstruido.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar	FERNANDO ALDÁS GABRIEL VIVAR	Lámina	Escala	Fecha
	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para Información		2	A4	7/04/2014

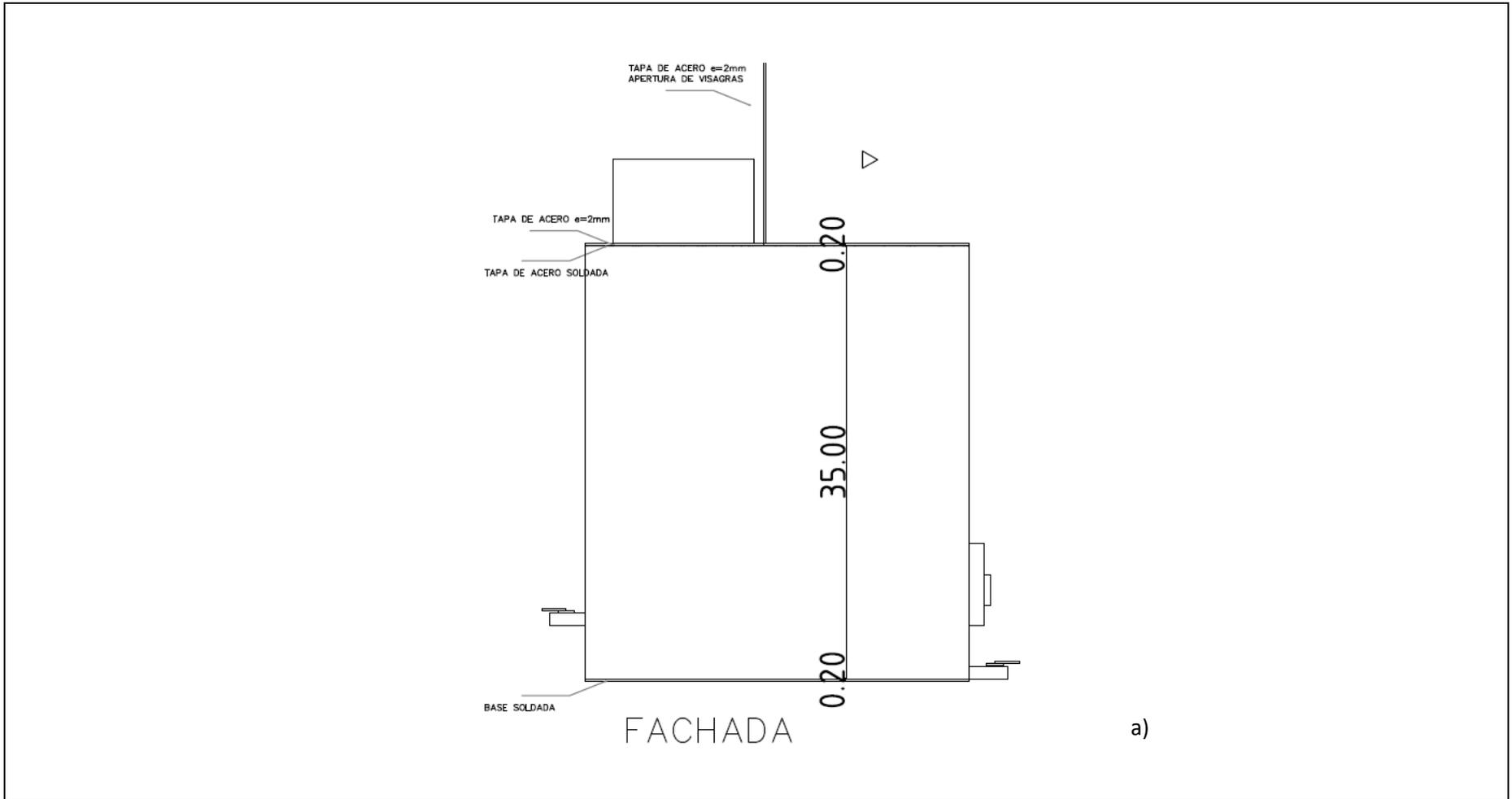
Anexo 6 PLANOS DEL REACTOR SEMICONTINUO



NOTAS

a) Corte del reactor Semicontinuo.	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para Información	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA FERNANDO ALDÁS GABRIEL VIVAR	ENSAYOS REALIZADOS EN EL REACTOR SEMICONTINUO		
			Lámina	Escala	Fecha
			4	A4	7/04/2014

Anexo 7 PLANOS DEL REACTOR SEMICONTINUO

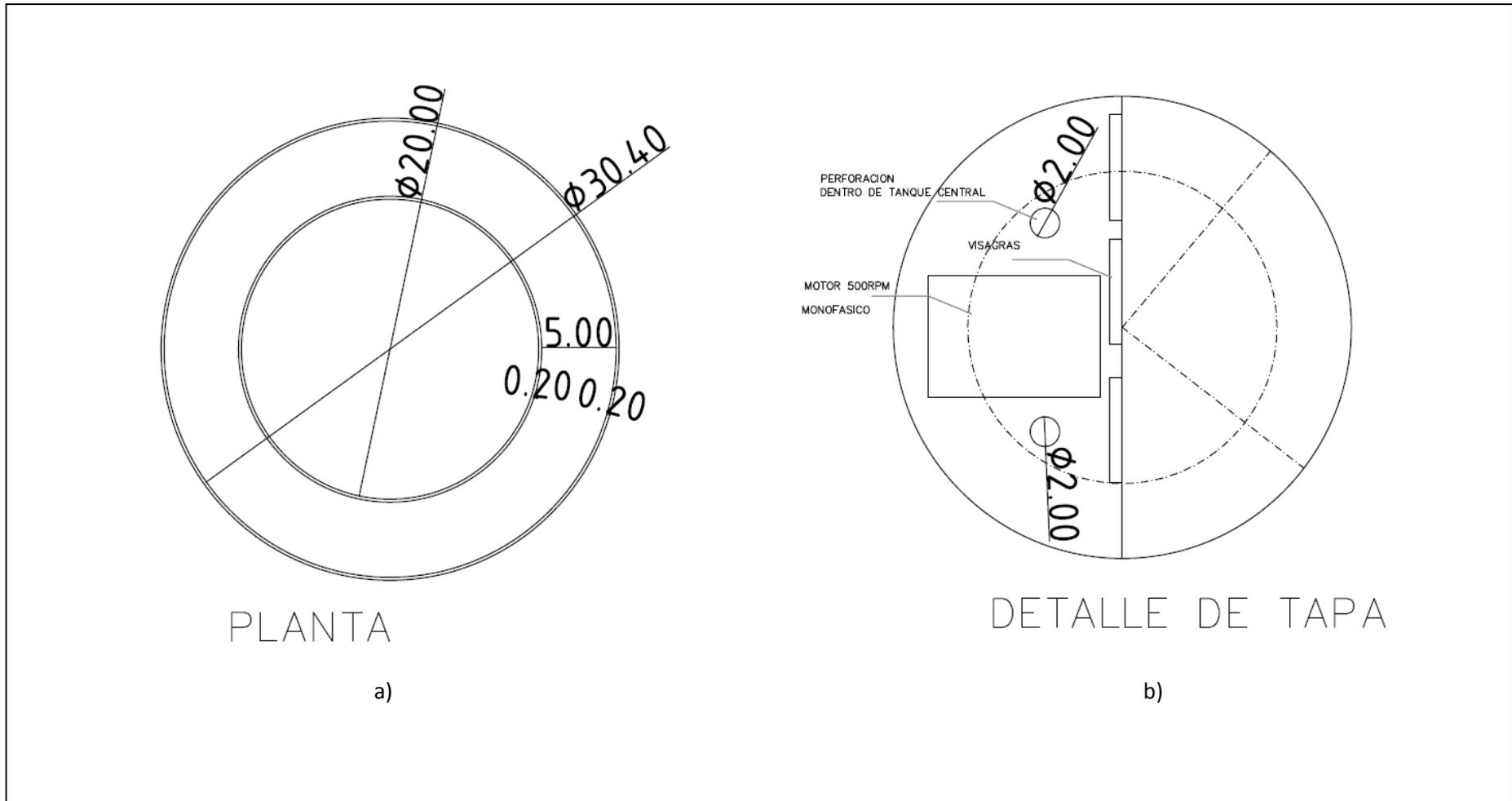


a)

NOTAS		CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	ENSAYOS REALIZADOS EN EL REACTOR SEMICONTINUO		
a) Fachada del reactor	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar			FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	Lámina	Escala
			FERNANDO ALDÁS GABRIEL VIVAR			

Semicontinuo.	<input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para Información		5	A4	7/04/2014
---------------	--	--	---	----	-----------

Anexo 8 PLANOS DEL REACTOR SEMICONTINUO



PLANTA

a)

DETALLE DE TAPA

b)

NOTAS		CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	ENSAYOS REALIZADOS EN EL REACTOR SEMICONTINUO
a) Vista planta del reactor Semicontinuo.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA		

b) Detalles del reactor Semicontinuo.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FERNANDO ALDÁS GABRIEL VIVAR		Lámina	Escala	Fecha
				6	A4	7/04/2014