



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANEJO PARA LOS RESIDUOS LÍQUIDOS  
GENERADOS EN EL LABORATORIO DE FISICOQUÍMICA  
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CARABOBO**

**TUTOR ACADÉMICO  
PROF. ADRIÁN SIERRA**

**AUTORAS:  
DIOSIRET A. CASTELLANOS M.  
VANESSA J. RODRÍGUEZ D.**

**VALENCIA, JUNIO DE 2011**



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



## CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para estudiar el Trabajo Especial de Grado Titulado: **“PROPUESTA DE UN PLAN DE MANEJO PARA LOS RESIDUOS LÍQUIDOS GENERADOS EN EL LABORATORIO DE FISICOQUÍMICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE CARABOBO”**, realizado por las bachilleres Castellanos M. Diosiret A., C.I. 14.984.181 y Rodríguez D. Vanessa J., C.I. 17.689.203, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo y que no nos hacemos responsables de su contenido, pero lo encontramos correcto en su forma y presentación.

---

Prof. Adrián Sierra  
Presidente

---

Prof. Auxilia Mallía  
Jurado

---

Prof. María Modroño  
Jurado

Valencia, 13 de Junio de 2011



## RESUMEN

En este proyecto investigativo se evaluó la posibilidad de mejorar algunas de las etapas del ciclo de vida de los reactivos que se utilizan en los desarrollos experimentales, mediante el planteamiento de alternativas para la minimización, recuperación y reutilización de los mismos, además de lograr la disposición final adecuada de los residuos líquidos generados.

Por las características de la investigación, se ubicó en un estudio de campo, con un nivel de profundidad de tipo exploratoria; el desarrollo de la metodología se inició con un diagnóstico sobre el manejo actual de los reactivos utilizados en las prácticas realizadas en el laboratorio de fisicoquímica (LFQ), continuó con la caracterización de los residuos líquidos generados en dichas prácticas y el planteamiento de alternativas para el manejo adecuado de tales residuos, finalmente se llevó a cabo la evaluación experimental de las alternativas seleccionadas y se calculó la relación costo-beneficio de las propuestas planteadas.

Entre los resultados más relevantes se tiene, que los residuos provenientes de titulaciones ácido-base y que tengan una concentración máxima de 150 ppm de fenolftaleína pueden ser tratados mediante la fotocatalisis heterogénea, empleando  $\text{TiO}_2$  como catalizador y  $\text{H}_2\text{O}_2$  como agente oxidante, y al implementar la propuesta para disminuir el volumen de agua empleada para el enfriamiento del refractómetro y el condensador en la práctica de equilibrio líquido-vapor, se obtendría una reducción aproximada de 98 % en la cantidad de agua utilizada actualmente.

Entre las conclusiones más importantes se encuentra, que la práctica de conductimetría es la mayor generadora de desechos en el LFQ, recolectándose durante nueve (9) prácticas, un volumen aproximado de  $(15.165 \pm 270)$  mL; el costo inicial total para implementar las alternativas propuestas, es de tan sólo 2.532,89 \$, siendo superado en gran medida por los ahorros obtenidos, ya que en el primer año de la implementación dicho valor tendría un aproximado de 91.090,2\$.

La principal recomendación es implementar las propuestas planteadas en esta investigación para lograr con ello un manejo adecuado de los residuos líquidos generados en el laboratorio de fisicoquímica y contribuir así a reducir el impacto ambiental ocasionado actualmente por dicho laboratorio.

**Palabras claves:** residuos líquidos, manejo, minimización, recuperación, reutilización, disposición.



## ABSTRACT

In this research project to examine the possibility of improving some of the life cycle stages of the reagents used in experimental developments, using the alternative approach for the minimization, recovery and reuse of the same, and to achieve the provision appropriate final liquid waste generated.

The characteristics of the research, was located in a field study with a deep level of exploratory; development of methodology began with a diagnosis of the current management of the reagents used in the practices developed in the laboratory physicochemical (LFQ), continued with the characterization of liquid waste generated in such practices and alternative approach for proper management of such waste, finally took out the experimental evaluation of selected alternatives and calculating the cost-benefit of the proposals.

Among the most relevant results is that the waste from acid-base titrations and have a maximum concentration of 150 ppm of phenolphthalein can be treated by heterogeneous photocatalysis, using  $\text{TiO}_2$  as catalyst and  $\text{H}_2\text{O}_2$  as an oxidizing agent, and to implement proposal to reduce the volume of water used for cooling the refractometer and the condenser in the practice of liquid-vapor equilibrium, would yield an approximate 98% reduction in the amount of water currently used.

Among the key findings is that the practice of conductometry is the largest generator of waste in the LFQ, collecting for nine (9) practice, a volume of  $(15.165 \pm 270)$  mL, the total initial cost for implementing the alternatives proposals, is only \$ 2.532,89, being greatly exceeded by the savings achieved, as in the first year of implementation that would have an approximate value of 91.090,2\$.

The main recommendation is to implement the proposals in this investigation to achieve thereby a proper handling of liquid wastes generated in the laboratory physicochemical and thereby contribute to reducing the environmental impact caused by the laboratory today.

**Keywords:** liquid waste, management, waste minimization, recovery, reuse, disposal.

## AGRADECIMIENTOS

*Agradecemos primeramente a DIOS, por guiarnos y enseñarnos el camino para superar todos los obstáculos que se nos presentaron en este largo recorrido y permitirnos finalmente lograr nuestra meta.*

*Al profesor Adrián Sierra, por su valiosa ayuda, dedicación y paciencia, por sus acertados consejos y recomendaciones.*

*A la profesora Dayhana Zambrano, por la orientación dada en la etapa de planteamiento de las alternativas, ya que fue clave para desarrollar las propuestas presentadas en esta investigación.*

*A la profesora Olgatriny Martínez y al profesor Tony Espinoza, por su colaboración en la fase inicial de esta investigación.*

*A las técnicas de los laboratorios de Fisicoquímica, Química Analítica y Alimentos, Zulmy López, Luiceluy Salpathi y Peggy Londoño, respectivamente, por facilitarnos el uso de los equipos pertenecientes a estos laboratorios, su tiempo y las recomendaciones dadas.*

*Al Ingeniero Jairo Martínez y al Sr. Mario Rossi, por la colaboración prestada en la fase experimental de esta investigación, muchas gracias por sus consejos.*

*A la Sra. María Mederico, por permitir que hiciéramos de su casa, por largo tiempo, un laboratorio improvisado para diseñar y ensamblar los montajes experimentales que llevamos a cabo.*

*Al Sr. Álvaro Castellanos, por su gran ayuda en la elaboración del fotoreactor, por su aporte y orientación durante el desarrollo de este estudio.*

*Al Sr. Gustavo Jiménez, por el apoyo prestado durante este recorrido.*

*Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en el logro de esta meta, hacemos extensivas nuestro más sincero agradecimiento.*

*A todos ustedes.....*

*Muchas Gracias*

## AGRADECIMIENTOS

*Esta investigación ha contado con la colaboración de muchas manos amigas sin las cuales no habría sido posible culminarla, es por ello que quiero brindar mis más sinceras palabras de agradecimiento a todos aquellos que estuvieron conmigo durante este recorrido y a aquellos que me acompañaron a lo largo de mi carrera.*

*Quiero dar gracias primeramente a DJOS por todas las bondades que ha tenido para conmigo, por guiarme siempre por el camino correcto y darme la oportunidad de asumir este proyecto de vida y concluirlo finalmente.*

*A mis padres y hermano, Ana Díaz, José A. Rodríguez y José A. Rodríguez Díaz, por estar siempre conmigo y ser lo mejor que tengo en la vida. A mi mamá, por enseñarme a conquistar las metas que me proponga, motivarme a seguir adelante, brindarme su confianza y por ser más que mi madre, mi amiga.*

*Al profesor Adrián Sierra, por tener siempre disponibles un consejo y una palabra de aliento.*

*A mis tías, Gladys, Isolina y Petra, por su ayuda incondicional y de manera desinteresada para con mis padres y conmigo, por extendernos la mano cuando más lo necesitábamos; a mis primos, Andrés, Luis Roberto, Mayerlín y Yubirini, que nos brindaron su apoyo económico en los momentos difíciles y a toda mi familia, por estar siempre a mi lado, por preocuparse por mis estudios y estar al pendiente de los giros de esta investigación.*

*A mis amigas que estuvieron conmigo a lo largo de este recorrido, Viji, Carmen, Asdiely, Ani, Rocmary y Mariüta, por ser pacientes conmigo y darme su apoyo, además de compartir las angustias y gratificaciones que viví durante esta investigación y la carrera; gracias por todos los buenos momentos que compartimos.*

*A mis jefes y compañeros de trabajo, en especial al Sr. César Hoyos, al Sr. Abraham Sánchez, Luis Aguilera y Verónica Acero, por permitirme ajustar mi horario de trabajo a los requerimientos de esta investigación sin reclamos, quejas u objeción alguna y brindarme siempre su apoyo incondicional.*

*De corazón.....Muchas gracias a todos.....*

*Vanessa Rodríguez*

## *AGRADECIMIENTOS*

*Con el pasar del tiempo percibo que los mayores esfuerzos, por más individuales que parezcan, están siempre acompañados de apoyos imprescindibles para lograr concretarlos.*

*En esta etapa que da fin a un ciclo y comienzo de otro, debo mi eterno agradecimiento:*

*A Dios Todopoderoso quien me dio la fortaleza, la salud y la perseverancia para terminar este trabajo.*

*A mis padres del alma Álvaro Castellanos y María Mederico, quienes creyeron y confiaron en mis capacidades de alcanzar la meta propuesta.*

*A mi esposa Gustavo Jiménez, quien me prestó tiempo que le pertenecía a nuestro matrimonio para terminar y me motivó siempre con sus palabras fraternales de ánimo ¡sigue adelante!, y por su constante e incondicional apoyo.*

*A mi familia Mederico y Jiménez Gavidia, por siempre estar pendiente de cómo marchaba este trabajo de investigación.*

*Al Prof. Adrián Sierra; por su orientación, tiempo dedicado, y por la oportunidad y la confianza brindada.*

*Y a las personas que laboran en el área de Postgrado Ingeniería que me prestaron su total colaboración cuando la necesité.*

*Diosiret Castellanos*

## DEDICATORIA

*Este logro y todos los que he alcanzado, están impregnados con su amor, dedicación, esfuerzo, devoción y trabajo, todos y cada uno de ellos llevan estampados su firma... Para ti Mamá*

*Vanessa Rodríguez*

*Para mis padres Álvaro y María, por su comprensión y ayuda en los buenos y malos momentos. Porque me han enseñado a enfrentar las adversidades sin perder nunca la calma y la dignidad ni desfallecer en el intento. Por haber hecho de mí la persona que soy, por inculcarme valores, principios, y ser perseverante en lo que emprendo, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio.*

*Para Gustavo mi esposo, por ser un compañero extraordinario, por su comprensión, su amor incondicional, su fortaleza, su amor, por transmitirme sus buenas vibras cada vez que me impacientaba. Porque él es la persona que ha sufrido de manera directa las consecuencias del trabajo realizado. Nunca le podré pagar por todas las cosas que he recibido de su parte para la culminación de esta investigación, de las cuales le estaré eternamente agradecida.*

*Mi triunfo es el de ustedes, ¡los amo!*

*Diosiret Castellanos*



## ÍNDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	
1.1. Descripción del problema	3
1.2. Formulación del problema	4
1.2.1. Situación actual	4
1.2.2. Situación deseada	5
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.4. Justificación	6
1.5. Limitaciones	7
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1. Antecedentes	8
2.2. Definición de términos	11
2.3. Fundamentos teóricos que sustentan las prácticas realizadas en el LFQ	15
2.3.1. Determinación del calor de combustión de una muestra problema	15
➤ Calor de formación	15
➤ Calor de combustión	15
➤ Bomba calorimétrica	15
➤ Calorimetría	16
2.3.2. Equilibrio líquido-vapor del sistema binario n-hexano-etanol	16
➤ Fases	17
➤ Componentes	17
➤ Ley de Raoult	17
➤ Equilibrio líquido-vapor en soluciones no ideales	17
2.3.3. Equilibrio líquido-líquido del sistema ternario: tolueno-ácido acético-agua	18
➤ Diagramas de fase	18



➤ Triángulo de concentraciones	18
2.3.4. Aplicación de medidas conductimétricas en la determinación de variables físico-químicas para diferentes electrolitos	19
➤ Soluciones	19
➤ Electrolitos	19
➤ Conductancia	19
➤ Conductancia específica	20
➤ Variación de la conductancia con la concentración	20
2.3.5. Adsorción de ácido oxálico sobre carbón activado a partir de soluciones acuosas	21
➤ Clasificación de la adsorción	21
➤ Isotermas de adsorción	21
2.4. Residuos químicos generados en laboratorios	22
2.4.1. Residuos tóxicos en pequeña cantidad	22
2.4.2. Clasificación de los residuos	23
➤ Grupo I: Disolventes halogenados	23
➤ Grupo II: Disolventes no halogenados	23
➤ Grupo III: Disoluciones acuosas	24
➤ Grupo IV: Ácidos	24
➤ Grupo V: Aceites	24
➤ Grupo VI: Sólidos	24
➤ Grupo VII: Especiales	25
2.4.3. Manejo de residuos químicos	25
➤ Minimización	25
➤ La recuperación	25
➤ La reutilización	26
➤ Disposición	26
• Vertido	26
• Incineración	26
2.4.4. Tratamiento de residuos	27
➤ Métodos químicos	27



• Óxido/reducción	27
• Neutralización	27
➤ Métodos biológicos	28
➤ Métodos físicos	28
2.5. Gestión de residuos. Una necesidad en la organización del laboratorio	28
2.6. Propiedades físicas y químicas que hacen riesgosas a las sustancias	29
2.6.1. Destino y transporte de las sustancias en el ambiente	29
2.6.2. Destino y reacciones de las sustancias en los organismos vivos	31
2.7. Desarrollo sustentable	31
2.7.1. Química sostenible	31
2.7.2. Educación ambiental	32
2.8. Ciclo de vida	32
2.9. Hojas de datos de seguridad de los materiales (MSDS)	33
2.10. Bolsa de residuos de laboratorio	33
2.11. Diagrama de Ishikawa	34
2.12. Marco legal	36
2.12.1. Ley orgánica del ambiente	36
2.12.2. Ley penal del ambiente	36
2.12.3. Ley N°55: Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos	37
2.12.4. Ley de aguas	38
2.12.5. Decretos/ Reglas técnicas	38
➤ Decreto 1.257	38
<b>CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO</b>	
3.1. Tipo de investigación	39
3.2. Diagnóstico del manejo actual de los reactivos utilizados en las prácticas experimentales	40
3.2.1. Etapas pertenecientes al ciclo de vida de los reactivos empleados en las prácticas del LFQ	40
3.2.2. Elaboración de los diagramas de proceso	41



3.2.3. Construcción de los diagramas de las etapas pertenecientes al ciclo de vida de los reactivos	41
3.2.4. Diagrama de Ishikawa	42
3.3. Caracterización de los residuos líquidos generados en las prácticas Realizadas	43
3.3.1. Establecimiento de los tipos de residuos generados	43
3.3.1.1. Práctica: Determinación del calor de combustión de una sustancia problema (Calorimetría)	44
3.3.1.2. Práctica: Equilibrio líquido-vapor del sistema binario n-hexano-etanol (Equilibrio líquido-vapor)	45
3.3.1.3. Práctica: Equilibrio líquido-líquido del sistema ternario tolueno-ácido acético-agua (Equilibrio líquido-líquido)	46
3.3.1.4. Práctica: Aplicación de medidas conductimétricas en la determinación de variables fisicoquímicas para diferentes electrolitos (Conductimetría)	47
3.3.1.5. Práctica: Adsorción de ácido oxálico sobre carbón vegetal a partir de disoluciones acuosas (Adsorción)	48
3.3.2. Recolección de muestras	49
3.3.2.1. Volumen semanal recolectado por cada residuo generado	50
3.3.3. Caracterización de los residuos	52
3.3.3.1. Práctica de calorimetría	53
3.3.3.2. Práctica de equilibrio líquido-vapor	53
3.3.3.3. Práctica de equilibrio líquido-líquido	53
3.3.3.4. Práctica de conductimetría	54
3.3.3.5. Práctica de adsorción	54
3.4. Planteamiento de las diferentes alternativas de recuperación, reutilización e inactivación de los residuos	57
3.4.1. Práctica de calorimetría	59
3.4.2. Práctica de equilibrio líquido-vapor	60
3.4.3. Práctica de equilibrio líquido-líquido	62
3.4.4. Práctica de conductimetría	64



3.4.5. Práctica de adsorción	65
3.4.6. Selección de las alternativas en casos de múltiples opciones	66
3.5. Evaluación experimental de las alternativas seleccionadas	67
3.5.1. Práctica de calorimetría	67
3.5.1.1. Fotocatálisis heterogénea para la degradación de fenolftaleína	68
3.5.2. Práctica de equilibrio líquido-líquido	69
3.5.2.1. Sistema de recuperación de tolueno con recirculación	69
3.5.2.2. Fotocatálisis heterogénea para la degradación del tolueno	70
3.5.3. Práctica de conductimetría	71
3.5.3.1. Adsorción de ácido acético sobre carbón activado	71
3.5.3.2. Titulación conductimétrica y potenciométrica combinadas	72
3.5.4. Práctica de adsorción	73
3.5.4.1. Evaporación de agua para concentrar el ácido oxálico diluido	73
3.6. Realización del estudio económico de las propuestas seleccionadas	74
 <b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	
4.1. Diagnóstico del manejo actual de los reactivos utilizados en las prácticas Experimentales	75
4.1.1. Etapas pertenecientes al ciclo de vida que cumplen los reactivos empleados en las prácticas	75
4.1.2. Diagramas de Ishikawa para establecer las causas de la generación de residuos químicos en el LFQ	84
4.1.2.1. Práctica de calorimetría	84
4.1.2.2. Práctica de equilibrio líquido-vapor	86
4.1.2.3. Práctica de equilibrio líquido-líquido	90
4.1.2.4. Práctica de conductimetría	91
4.1.2.5. Práctica de adsorción	93
4.2. Caracterización de los residuos generados en las prácticas realizadas	98
4.2.1. Muestreo y cuantificación de los volúmenes acumulados durante el período de recolección	98
4.2.1.1. Práctica de calorimetría	100



4.2.1.2.	Práctica de equilibrio líquido-vapor	104
4.2.1.3.	Práctica de equilibrio líquido-líquido	106
4.2.1.4.	Práctica de conductimetría	110
4.2.1.5.	Práctica de adsorción	112
4.3.	Planteamiento de las diferentes alternativas de recuperación, reutilización e inactivación de los residuos	113
4.3.1.	Alternativas para la práctica de calorimetría	114
4.3.1.1.	Ácido nítrico titulado ( $\text{HNO}_3$ titulado)	114
4.3.1.2.	Exceso de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}_{\text{calorimetría}}$ )	120
4.3.1.3.	Agua de enfriamiento	122
4.3.2.	Alternativas para la práctica de equilibrio líquido-vapor	123
4.3.2.1.	Exceso de n-hexano y exceso de etanol	123
4.3.2.2.	N-hexano-etanol (calibración)	128
4.3.2.3.	Mezcla recuperada	130
4.3.2.4.	Agua de enfriamiento	131
4.3.3.	Alternativas para la práctica de equilibrio líquido-líquido	134
4.3.3.1.	Exceso de ácido acético ( $\text{HAc}_{\text{liq-liq}}$ )	134
4.3.3.2.	Exceso de tolueno	136
4.3.3.3.	Fases no tituladas	138
4.3.3.4.	Fases tituladas	141
4.3.3.5.	Exceso de hidróxido de sodio acuoso ( $\text{NaOH}_{\text{acuoso liq-liq}}$ ) y exceso de hidróxido de sodio alcohólico ( $\text{NaOH}_{\text{alcohólico liq-liq}}$ )	142
4.3.4.	Alternativas para la práctica de conductimetría	144
4.3.4.1.	Cloruro de sodio diluido ( $\text{NaCl}$ ), ácido clorhídrico diluido ( $\text{HCl}_{\text{diluido}}$ ) y ácido acético diluido ( $\text{HAc}_{\text{diluido}}$ )	145
4.3.4.2.	Exceso de ácido acético ( $\text{HAc}_{\text{conductimetría}}$ )	150
4.3.4.3.	Exceso de ácido clorhídrico ( $\text{HCl}_{\text{conductimetría}}$ )	151
4.3.4.4.	Exceso de cloruro de potasio ( $\text{KCl}$ )	152
4.3.5.	Alternativas para la práctica de adsorción	153
4.3.5.1.	Exceso de ácido oxálico	153



4.3.5.2. Ácido oxálico titulado	155
4.3.5.3. Ácido oxálico filtrado	156
4.3.5.4. Ácido oxálico filtrado titulado	157
4.3.5.5. Exceso de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}_{\text{adsorción}}$ )	158
4.4. Evaluación de forma experimental de las alternativas seleccionadas	160
4.4.1. Práctica de calorimetría	160
4.4.1.1. Fotocatálisis heterogénea para la degradación de fenolftaleína	160
4.4.2. Práctica de equilibrio líquido-líquido	168
4.4.2.1. Sistema de recuperación de tolueno con recirculación	168
4.4.2.2. Fotocatálisis heterogénea para la degradación del tolueno	171
4.4.3. Práctica de conductimetría	172
4.4.3.1. Adsorción de ácido acético sobre carbón activado	172
4.4.3.2. Titulación conductimétrica y potenciométrica combinadas	176
4.4.4. Práctica de adsorción	180
4.4.4.1. Evaporación de agua para concentrar el ácido oxálico filtrado	180
4.4.5. Resumen de las alternativas planteadas	182
4.5. Realización del estudio económico de las propuestas seleccionadas	182
4.5.1. Capital fijo de las alternativas propuestas	182
4.5.1.1. Fotocatálisis heterogénea para la degradación de fenolftaleína	182
4.5.1.2. Reutilización del agua de enfriamiento proveniente del refractómetro y del equipo de destilación	186
4.5.1.3. Sistema de recuperación de tolueno con recirculación	187
4.5.1.4. Adsorción de ácido acético sobre carbón activado	187
4.5.1.5. Titulación conductimétrica y potenciométrica combinadas	188
4.5.2. Ahorros obtenidos al aplicar las alternativas planteadas	190
4.5.3. Beneficio económico obtenido al implementar las alternativas propuestas	193
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
Conclusiones	194
Recomendaciones	199

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Referencias bibliográficas	201
----------------------------	-----

**APÉNDICES**

Apéndice A: Entrevistas, observaciones y datos experimentales	209
Apéndice B: Cálculos típicos	248
Apéndice C: Resultados experimentales	283
Apéndice D: Figuras y datos bibliográficos	297
Apéndice E: Modificaciones metodológicas propuestas	321



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
3.1. Estimación de los volúmenes a recolectar por cada residuo generado	51
3.2. Análisis realizados a los residuos recolectados para su caracterización	55
3.3. Etapas del manejo a tratar para cada residuo generado	58
3.4. Tecnologías avanzadas de oxidación	60
4.1. Volúmenes acumulados durante el período de recolección y el estimado a generar en un semestre	99
4.2. Análisis realizados a los residuos recolectados para su caracterización	101
4.3. Matriz para la selección de la alternativa que permita disponer adecuadamente la fenolftaleína presente en el HNO <sub>3</sub> titulado	117
4.4. Número de prácticas en las que puede ser reutilizado el NaOH <sub>calorimetría</sub> recuperado	121
4.5. Matriz para la selección de la alternativa más adecuada para reutilizar el exceso de etanol	125
4.6. Estimación del volumen de ácido acético necesario para realizar la práctica de equilibrio líquido-líquido	135
4.7. Estimación del volumen de tolueno necesario para realizar la práctica de equilibrio líquido-líquido	136
4.8. Matriz para la selección de la alternativa que permita disponer adecuadamente la fracción orgánica de las fases no tituladas	140
4.9. Número de prácticas en las que pueden ser reutilizados el NaOH <sub>acuoso liq-liq</sub> y el NaOH <sub>alcohólico liq-liq</sub> recuperado	143
4.10. Estimación de los volúmenes que generan el NaCl, HCl <sub>diluido</sub> y HAc <sub>diluido</sub> en un semestre	146
4.11. Estimación del volumen de NaCl que se genera al implementar la metodología propuesta	148
4.12. Concentraciones requeridas de HCl <sub>diluido</sub> y HAc <sub>diluido</sub> para realizar la titulación conductimétrica y potenciométrica combinadas	149



<b>4.13.</b> Estimación del volumen de residuo que se genera al implementar la metodología propuesta	153
<b>4.14.</b> Estimación del volumen de ácido oxálico necesario para realizar la práctica de adsorción	154
<b>4.15.</b> Cinética propuesta de la reacción de degradación de la fenolftaleína	166
<b>4.16.</b> Propiedades de la mezcla obtenida del sistema de recuperación de tolueno con recirculación	169
<b>4.17.</b> Características del producto principal obtenido del sistema de recuperación de tolueno con recirculación	169
<b>4.18.</b> Propiedades del tolueno antes y después de la degradación fotocatalítica	171
<b>4.19.</b> Moles de las soluciones de ácido acético antes y después de la adsorción	174
<b>4.20.</b> Valores necesarios para la elaboración de la Isoterma de Langmuir	174
<b>4.21.</b> Isoterma de Langmuir para la adsorción de ácido acético diluido sobre carbón activado	174
<b>4.22.</b> Concentración de la solución ácido oxálico 0,0009 M después de la evaporación de agua	181
<b>4.23.</b> Resumen de las alternativas planteadas	183
<b>4.24.</b> Costo en dólares de equipos, reactivos, material de vidrio y complementarios para llevar a cabo las alternativas propuestas	189
<b>4.25.</b> Activos y capital fijo de las alternativas propuestas	190
<b>4.26.</b> Ahorro generado por los reactivos minimizados con la aplicación de las alternativas planteadas	191
<b>4.27.</b> Ahorro generado por las multas que pueden ser impuestas a la universidad al no cumplir las normativas ambientales	193
<b>A.1.</b> Etapas del ciclo de vida de los reactivos empleados en las prácticas del LFQ	210
<b>A.2.</b> Diagramas del proceso	212
<b>A.3.</b> Volúmenes recolectados de los residuos durante período	



de recolección	228
<b>A.4.</b> Temperaturas de los residuos al ser recolectados y al realizar el trasvase	230
<b>A.5.</b> pH de los residuos al finalizar cada semana del período de recolección	233
<b>A.6.</b> Conductancia de los residuos al finalizar cada semana del período de recolección	234
<b>A.7.</b> Conductancia de los residuos al finalizar el período de recolección	238
<b>A.8.</b> Volúmenes de titulante agregado al realizar la valoración ácido-base de algunos residuos	239
<b>A.9.</b> Índices de refracción leídos para algunos residuos generados en las prácticas realizadas en el LFQ	240
<b>A.10.</b> Índices de refracción leídos para algunos reactivos empleados en las prácticas realizadas en el LFQ	240
<b>A.11.</b> Índices de refracción leídos para construir la curva de calibración de la mezcla binaria n-hexano-etanol	241
<b>A.12.</b> Transmitancia del tolueno grado reactivo empleado en el LFQ	241
<b>A.13.</b> Volúmenes de NaOH agregado por los alumnos en la práctica de calorimetría	242
<b>A.14.</b> Valores necesarios para determinar el volumen de agua utilizada actualmente para el enfriamiento del refractómetro y del condensador	242
<b>A.15.</b> Volúmenes aproximados de tolueno agregados por los alumnos para lograr el punto de turbidez en los sistemas ternarios	243
<b>A.16.</b> Volúmenes de hidróxido de sodio acuoso y alcohólico agregado por los alumnos en las titulaciones de las mezclas ternarias	243
<b>A.17.</b> Conductancias medidas al agua destilada durante el período de recolección	243
<b>A.18.</b> Conductancia medida al agua destilada contenida en un cilindro de plástico de 50 mL de capacidad	244
<b>A.19.</b> Volúmenes de hidróxido de sodio agregado por los alumnos	



en las titulaciones de la práctica de adsorción	244
<b>A.20.</b> Transmitancia de las soluciones de fenolftaleína en función de la concentración para la construcción de la curva de calibración	244
<b>A.21.</b> Transmitancia de las soluciones de fenolftaleína durante la oxidación fotocatalítica en función del tiempo	245
<b>A.22.</b> Volúmenes de titulante agregado en la valoración ácido-base de las soluciones de ácido acético a emplear en la adsorción sobre carbón activado	245
<b>A.23.</b> Volúmenes de titulante agregado a las soluciones de ácido acético luego de la adsorción sobre carbón activado	246
<b>A.24.</b> pH y conductancias leídas durante la titulación potenciométrica y conductimétrica combinadas	246
<b>A.25.</b> Titulación potenciométrica individual para el ácido acético y clorhídrico	247
<b>A.26.</b> Volúmenes de NaOH utilizado para titular la solución de ácido oxálico filtrado luego de la evaporación de agua	247
<b>C.1.</b> Volúmenes acumulados por semana durante el período de recolección de muestras	284
<b>C.2.</b> Índices de refracción corregidos para algunos reactivos empleados en las prácticas realizadas en el LFQ	285
<b>C.3.</b> Índices de refracción corregidos para construir la curva de calibración de la mezcla binaria n-hexano-etanol	285
<b>C.4.</b> Volumen promedio de NaOH agregado por práctica en calorimetría	287
<b>C.5.</b> Volumen aproximado de agua empleado actualmente en la práctica de equilibrio líquido-vapor para el enfriamiento	287
<b>C.6.</b> Volúmenes necesarios para preparar 20 mL de solución binaria ácido acético-agua y ácido acético-tolueno con porcentajes en peso de ácido acético de 10, 30,40 y 60 %	287
<b>C.7.</b> Volumen de tolueno aproximado para alcanzar el punto de turbidez en los sistemas ternarios	288
<b>C.8.</b> Volumen aproximado de hidróxido de sodio acuoso y alcohólico	



empleado en la práctica de equilibrio líquido-líquido	288
<b>C.9.</b> Conductancias promedio medidas al agua destilada durante el período de recolección	289
<b>C.10.</b> Conductancia promedio medida al agua destilada contenida en un cilindro de plástico de 50 mL de capacidad	289
<b>C.11.</b> Volumen promedio de hidróxido de sodio agregado por los alumnos en las prácticas de adsorción	289
<b>C.12.</b> Variación de la concentración de fenolftaleína en función del tiempo durante la oxidación fotocatalítica	292
<b>C.13.</b> Concentración de las soluciones de ácido acético empleadas en la adsorción sobre carbón activado	292
<b>C.14.</b> Concentración de las soluciones de ácido acético luego de la adsorción sobre carbón activado	292
<b>C.15.</b> Valores obtenidos al realizar la titulación potenciométrica y conductimétrica combinadas	294
<b>C.16.</b> Concentración de la solución de ácido oxálico filtrado luego de la evaporación de agua	295
<b>C.17.</b> Precio neto total de equipos que requieren instalación	295
<b>C.18.</b> Precio neto por accesorios	295
<b>C.19.</b> Precio neto por equipos adicionales	296
<b>C.20.</b> Depreciación de los equipos utilizados en las alternativas propuestas	296
<b>D.1.</b> Datos bibliográficos de algunos reactivos empleados en las prácticas realizadas en el LFQ	298
<b>D.2.</b> Costo de equipos, reactivos, material de vidrio y complementarios en su moneda de origen	320
<b>D.3.</b> Precio de los reactivos minimizados al aplicar las alternativas planteadas	320
<b>E.1.</b> Modificaciones metodológicas propuestas	322



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Pág.</b>
2.1. Diagrama de bomba calorimétrica	16
2.2. Diagrama de fases líquido-vapor de presión frente a composición y diagrama correspondiente de temperatura frente a composición	18
2.3. Propiedades geométricas en triángulo de concentraciones	19
2.4. Aspectos a considerar en la gestión de residuos de laboratorios químicos	29
2.5. Destino y transporte de las sustancias en el ambiente	30
2.6. Mecanismos que influyen en el destino y transporte de sustancias químicas	30
2.7. Etapas del ciclo de vida de un producto	32
2.8. Diagrama de Ishikawa o diagrama causa-efecto	35
3.1. Diagrama de las etapas del ciclo de vida de los reactivos	42
3.2. Diagrama de Ishikawa simplificado para analizar las causas de la generación de los residuos líquidos en el LFQ	43
3.3. Etapas del manejo de los residuos aplicando un análisis de ciclo cerrado	57
3.4. Montaje experimental del sistema fotocatalítico utilizando lámpara UV con una longitud de onda de 368 nm	68
3.5. Montaje experimental del sistema de recuperación de tolueno con recirculación	70
3.6. Montaje experimental utilizado para la adsorción de ácido acético sobre carbón activado	71
3.7. Esquema del montaje empleado para realizar la titulación potenciométrica y conductimétricas combinadas	73
4.1. Etapas del ciclo de vida del hidróxido de sodio empleado en el LFQ	76
4.2. Etapas del ciclo de vida del ácido acético empleado en el LFQ	77
4.3. Almacenamiento inadecuado de los residuos dentro del LFQ.	78
4.4. Etapas del ciclo de vida del tolueno empleado en el LFQ	78
4.5. Etapas del ciclo de vida del cloruro de sodio empleado en el LFQ	79
4.6. Etapas del ciclo de vida del cloruro de potasio empleado en el LFQ	80
4.7. Etapas del ciclo de vida del ácido clorhídrico empleado en el LFQ	81



4.8.	Etapas del ciclo de vida del ácido oxálico empleado en el LFQ	81
4.9.	Etapas del ciclo de vida de la fenolftaleína empleada en el LFQ	82
4.10.	Etapas del ciclo de vida del n-hexano empleado en el LFQ	83
4.11.	Etapas del ciclo de vida del etanol empleado en el LFQ	83
4.12.	Diagrama causa-efecto simplificado de la generación de residuos en la práctica de calorimetría	87
4.13.	Diagrama causa-efecto simplificado de la generación de residuos en la práctica de líquido-vapor	89
4.14.	Diagrama causa-efecto simplificado de la generación de residuos en la práctica de líquido-líquido	92
4.15.	Diagrama causa-efecto simplificado de la generación de residuos en la práctica de conductimetría	94
4.16.	Diagrama causa-efecto simplificado de la generación de residuos en la práctica de adsorción	97
4.17.	Visualización de lectura del refractómetro	105
4.18.	Etapas del manejo de $\text{NaOH}_{\text{calorimetría}}$ aplicando un análisis de ciclo cerrado	122
4.19.	Etapas del manejo del exceso de n-hexano y del exceso de etanol aplicando un análisis de ciclo cerrado	127
4.20.	Sistema de recirculación continuo del agua de enfriamiento utilizada en la práctica de equilibrio líquido-vapor	131
4.21.	Bomba peristáltica	132
4.22.	Etapas del manejo del $\text{HAc}_{\text{liq-liq}}$ aplicando un análisis de ciclo cerrado	136
4.23.	Etapas del manejo del tolueno aplicando un análisis de ciclo cerrado	138
4.24.	Etapas del manejo del $\text{NaOH}_{\text{acuoso liq-liq}}$ y el $\text{NaOH}_{\text{alcohólico liq-liq}}$ aplicando un análisis de ciclo cerrado	144
4.25.	Cilindro graduado apropiado para realizar las mediciones conductimétricas	145



<b>4.26.</b> Etapas del manejo del exceso de ácido oxálico aplicando un análisis de ciclo cerrado	155
<b>4.27.</b> Etapas del manejo del $\text{NaOH}_{\text{adsorción}}$ aplicando un análisis de ciclo cerrado	159
<b>4.28.</b> Estructura cristalina de la anatasa (a) y del rutilo (b)	161
<b>4.29.</b> Porcentaje de decoloración de la fenolftaleína en función del tiempo	163
<b>4.30.</b> Coloración de la fenolftaleína durante la fotocatalisis heterogénea y después de la misma	164
<b>4.31.</b> Concentración de fenolftaleína en función del tiempo	165
<b>4.32.</b> Velocidad de reacción de la degradación de la fenolftaleína mediante fotocatalisis heterogénea	167
<b>4.33.</b> Unión en forma de “H” elaborada con tubos de PVC empleada para la recirculación continua	171
<b>4.34.</b> Isoterma de Langmuir para la adsorción de ácido acético diluido sobre carbón activado	175
<b>4.35.</b> Montaje experimental de la adsorción sobre carbón activado de soluciones de ácido acético diluidas	176
<b>4.36.</b> Titulación conductimétrica de 200 mL de una solución de ácidos acético y clorhídrico, con $\text{NaOH}$ 0,102 M	177
<b>4.37.</b> Curvas de titulación potenciométrica: titulación de la solución de ácido acético 0,0008 M y titulación de la solución de ácido clorhídrico 0,0008 M	178
<b>4.38.</b> Representación simultánea de los resultados obtenidos para la titulación conductimétrica y primera derivada de la titulación potenciométrica	179
<b>4.39.</b> Representación simultánea de los resultados obtenidos para la titulación conductimétrica y segunda derivada de la titulación potenciométrica	179
<b>4.40.</b> Equipos, materiales y reactivos necesarios para llevar a cabo la oxidación fotocatalítica	185



<b>4.41.</b> Equipos, materiales y reactivos necesarios para llevar a cabo la recuperación de tolueno mediante un sistema con recirculación	187
<b>4.42.</b> Equipos, materiales y reactivos necesarios para llevar a cabo la adsorción de ácido acético sobre carbón activado	188
<b>4.43.</b> Equipos, materiales y reactivos necesarios para llevar a cabo la titulación conductimétrica y potenciométrica combinadas	189
<b>C.1.</b> Curva de calibración del índice de refracción en función de la composición de n-hexano	286
<b>C.2.</b> Curva de calibración de la transmitancia en función de la concentración de fenolftaleína	290
<b>C.3.</b> Demanda Química de Oxígeno de la fenolftaleína antes y después de la oxidación fotocatalítica	291
<b>C.4.</b> Cromatografía de gases del tolueno proveniente de tres (3) alternativas llevadas a cabo experimentalmente	293
<b>D.1.</b> Diagrama del proceso empleado para analizar los procesos productivos a nivel industrial	299
<b>D.2.</b> Extracto de la ficha de seguridad del hidróxido de sodio 0,02 N	300
<b>D.3.</b> Extracto de la ficha de seguridad de la fenolftaleína al 1 %	302
<b>D.4.</b> Extracto de la ficha de seguridad del hexano al 98,5 %	304
<b>D.5.</b> Extracto de la ficha de seguridad del etanol al 99,5 %	306
<b>D.6.</b> Extracto de la ficha de seguridad del tolueno al 99,5 %	308
<b>D.7.</b> Extracto de la ficha de seguridad del ácido acético glacial al 99,7 %	310
<b>D.8.</b> Extracto de la ficha de seguridad del ácido clorhídrico 0,01 N	312
<b>D.9.</b> Extracto de la ficha de seguridad del cloruro de sodio 99 %	314
<b>D.10.</b> Extracto de la ficha de seguridad del cloruro de potasio 0,01 M	316
<b>D.11.</b> Extracto de la ficha de seguridad del ácido oxálico 0,1 N	318



## INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental causada por la generación de desechos tóxicos y peligrosos es un problema creciente a nivel mundial. En los laboratorios de investigación y docencia, se generan día a día, pequeñas cantidades de residuos perjudiciales al medioambiente, pero que si se considera el efecto acumulativo en dichas instituciones, se pueden clasificar como grandes productores de residuos peligrosos.

El objetivo de esta investigación es proporcionar alternativas de minimización, recuperación, reutilización y disposición final de los residuos líquidos generados en las prácticas realizadas en el laboratorio de fisicoquímica de la facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo.

Para el desarrollo de este trabajo, inicialmente, se realiza un diagnóstico del manejo actual de los reactivos utilizados en los desarrollos experimentales, por medio visitas al laboratorio, revisión del manual de prácticas y consulta con el personal técnico y docente, utilizando para ello un instrumento de recolección de datos que estudia las etapas del ciclo de vida que cumplen de estos reactivos dentro del laboratorio y un diagrama de procesos que permite analizar en detalle el procedimiento de las prácticas llevadas a cabo por los alumnos; con la información obtenida se construye un diagrama de Ishikawa por práctica, donde se detectan las posibles causas de la generación excesiva de residuos líquidos en el laboratorio.

Posteriormente, se realiza la caracterización de los residuos generados, la cual cuenta con una serie de pasos, tales como: establecimiento de los tipos de residuos, mediante la visita al laboratorio durante la ejecución de las prácticas y el planteamiento de las reacciones químicas que ocurren entre los reactivos empleados en estas. El siguiente paso es la recolección de las muestras, que se efectúa al finalizar cada práctica, tal y como son desechadas por los estudiantes, en envases debidamente identificados con el nombre de cada residuo (sin mezclar ningún residuo); y por último la aplicación de análisis fisicoquímicos, los cuales incluyen medición de pH, conductancia, índice de refracción, cromatografía, espectroscopía, valoración ácido-base, ensayo a la llama y la



identificación de compuestos aromáticos, a fin de conocer, entre otras cosas, el grado de pureza y contaminantes presentes si los hubiese.

Seguidamente, se plantean alternativas para el manejo adecuado de los residuos líquidos, partiendo de una revisión bibliográfica exhaustiva de donde se obtiene información sobre diferentes procesos de recuperación, reutilización e inactivación que puedan ser aplicados a los residuos generados en el laboratorio. Se selecciona la alternativa más conveniente para cada proceso, a través del método cualitativo de los factores determinantes cuyo instrumento es la matriz de ponderación por puntos.

A continuación, se realiza la evaluación de forma experimental de las alternativas seleccionadas, por medio del diseño y construcción de los montajes experimentales, seguido de los análisis respectivos para conocer el alcance de cada propuesta. Por último, se determina la relación costo-beneficio obtenida al implementar las alternativas seleccionadas.

Este trabajo de grado está estructurado en cuatro capítulos. En el primero se describe el planteamiento del problema, constituido por: la descripción y formulación del problema, la situación actual y la deseada, los objetivos planteados, así como la justificación y limitaciones del proyecto. En el capítulo II, se presentan los fundamentos teóricos sobre los cuales se sustenta la investigación y el marco jurídico venezolano que contiene los dispositivos legales que rigen el manejo adecuado de los residuos químicos. En el capítulo III, se describe la metodología empleada para el logro de los objetivos propuestos. En el cuarto capítulo, se presentan los resultados obtenidos a lo largo de la investigación y las discusiones respectivas que justifican dichos resultados. Finalmente, se exponen las conclusiones y recomendaciones obtenidas del estudio realizado, además, de las referencias bibliográficas y apéndices que complementan el cuerpo de la investigación.

Debido a la importancia que este trabajo conlleva, en cuanto a la reducción del impacto ambiental que genera el laboratorio de fisicoquímica, concientización de la comunidad universitaria y reducción de costos, se espera que sirva como herramienta y valga de fundamento para nuevos estudios y así, colaborar con el desarrollo sostenible del país.



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

*En esta sección se dará a conocer el problema en estudio, especificándose su propósito, la situación actual y deseada, así como los objetivos generales y específicos de la investigación. De igual forma se presentan las razones que justifican la investigación, las limitaciones y el alcance de la misma.*

#### 1.1. Descripción del problema

La Universidad de Carabobo es una institución educativa, ubicada en el sector Bárbula perteneciente al Municipio Naguanagua, en el estado Carabobo, esta institución se dedica a la formación de jóvenes a nivel de estudios superiores en diversas áreas, y está constituida por varias facultades, entre ellas la Facultad de Ingeniería, la cual cuenta con seis escuelas, que son: Ingeniería Química, Eléctrica, Mecánica, Civil, Industrial y Telecomunicaciones.

El Laboratorio de Físicoquímica, requiere de muchos reactivos costosos, que son utilizados a lo largo de cada semestre para la obtención de otros compuestos o directamente en el desarrollo de cada práctica.

Las prácticas que actualmente se llevan a cabo en el laboratorio son las siguientes: determinación del calor de combustión de una sustancia problema, equilibrio líquido-vapor del sistema binario n-hexano-etanol, equilibrio sólido-líquido de la mezcla binaria difenilamina-naftaleno, equilibrio líquido-líquido del sistema ternario tolueno-ácido acético-agua, aplicación de medidas conductimétricas en la determinación de variables físicoquímicas para diferentes electrolitos y la adsorción de ácido oxálico sobre carbón vegetal a partir de disoluciones acuosas.

En dicho laboratorio no se cuenta con un sistema de reaprovechamiento o con métodos de disposición final para las sustancias resultantes de dichas prácticas experimentales, por lo que la mayoría de los residuos líquidos son vertidos directamente en el desagüe y los sólidos en los depósitos recolectores de basura, ocasionando daños al ambiente. El



uso y la disposición final de las sustancias químicas, forman parte del “ciclo de vida” de las mismas, lo que se define según la Norma COVENIN-ISO 14040 como “etapas consecutivas e interconectadas de un sistema de producto, desde la adquisición de materia prima o la generación de recursos naturales hasta la disposición final”. En el LFQ se manejan, de forma inapropiada, las últimas etapas del ciclo de vida de los químicos que en él se utilizan.

Por las razones antes expuestas, el Departamento de Química Tecnológica desea contar con un sistema de recuperación, reutilización y/o inactivación de los residuos líquidos originados en el LFQ, que permita obtener reactivos recuperados que puedan ser empleados en este, o de ser posible en los laboratorios de Analítica (LQA) y Orgánica (LQO), y así encontrarle a estos una utilidad relevante, logrando una minimización en los costos de inversión en reactivos y a su vez entrar en armonía con el medio ambiente.

## **1.2. Formulación del problema**

Actualmente el LFQ de la Facultad de Ingeniería perteneciente al Departamento de Química Tecnológica de la Universidad de Carabobo, no cuenta con un sistema de disposición final adecuado para los residuos líquidos que genera, ocasionando con ello daño al ambiente, por lo que se pretende diseñar un plan que permita solventar esta situación, a través de la recuperación y reutilización de tales residuos, en caso de conseguirles una utilidad que represente un aporte significativo, o simplemente lograr su disposición final.

Tomando en cuenta la situación antes mencionada, se plantea la siguiente interrogante: ¿La propuesta de un plan de manejo para los residuos líquidos generados en el LFQ mejoraría la situación antes mencionada?

### **1.2.1. Situación actual**

Las sustancias tóxicas producidas cada semestre en el LFQ de la Facultad de Ingeniería, provenientes de los experimentos realizados por los estudiantes, para



complemento de su aprendizaje, actualmente no son tratadas originando una disposición inadecuada, que ocasiona daños al ambiente y el desperdicio de gran cantidad de reactivos que resultan costosos para la universidad.

Si el LFQ no evalúa la posibilidad de implementar un sistema de manejo adecuado de los residuos líquidos que produce, podría generar las siguientes consecuencias:

- Posibles sanciones por parte del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.
- Falta de herramientas para disminuir costos por concepto de compras de reactivos.
- Aumento de los desechos químicos en las aguas residuales que causan daños al ambiente.
- Imposibilidad de crear conciencia ambientalista entre los estudiantes.

### **1.2.2. Situación deseada**

El LFQ cuenta con un estudio a través del cual se evalúa la posibilidad de mejorar las últimas etapas del ciclo de vida de los compuestos que en él se utilizan, mediante un sistema que permite la recuperación y reutilización de los reactivos usados en las prácticas, además de lograr la disposición final adecuada de los residuos líquidos que se generan.

De esta manera se dispone de un conjunto de alternativas que permiten lograr la disminución de costos para la adquisición de reactivos, disminuir el impacto generado por el laboratorio al ambiente o simplemente darle otros usos a los mismos.

## **1.3. Objetivos**

Se exponen los objetivos general y específicos a desarrollar en la presente investigación.

### **1.3.1. Objetivo general**

Proponer un plan de manejo para los residuos líquidos generados en las prácticas del Laboratorio de Físicoquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.



### 1.3.2. Objetivos específicos

1. Realizar un diagnóstico sobre el manejo actual de los reactivos utilizados en las prácticas desarrolladas en el LFQ, determinando con ello las fallas, carencias, ventajas y desventajas del mismo.
2. Caracterizar los residuos líquidos generados en las prácticas realizadas, definiendo así la posible utilidad o tratamiento a aplicarles.
3. Plantear diferentes alternativas de recuperación, reutilización e inactivación para la disposición final de los residuos líquidos generados en las distintas prácticas, mejorando de esta manera el nivel de aprovechamiento de los recursos.
4. Evaluar de forma experimental las alternativas seleccionadas, que permitan verificar el alcance de las mismas.
5. Determinar la relación costo-beneficio de las propuestas seleccionadas.

### 1.4. Justificación

En la presente investigación, se busca plantear una serie de procesos experimentales dirigidos a recuperar, reutilizar y/o inactivar los residuos líquidos generados en las prácticas llevadas a cabo en el LFQ para una disposición final adecuada de los mismos, y que puedan ser agregados al plan de trabajo de cualquiera de los laboratorios pertenecientes al Departamento de Química Tecnológica de la Escuela de Ingeniería Química.

A nivel social y ambiental la presente investigación tiene una importancia considerable, ya que al inactivar los residuos líquidos se generan productos no tóxicos y respetuosos con el medio ambiente, dándoles además un mejor manejo que el realizado actualmente, siendo consecuentes con la conservación y protección del ambiente en



que nos encontramos y por otra parte se les da un mejor trato a las etapas finales del ciclo de vida de los reactivos empleados.

Para la Universidad, esta investigación, traerá múltiples beneficios, ya que al aplicar procesos de recuperación a los residuos líquidos se obtienen reactivos que pueden ser utilizados nuevamente en las mismas prácticas o en otras si su grado de pureza fuera una limitante.

Al recuperar y reutilizar algunos reactivos, y al darles otra función dentro del programa de prácticas de los laboratorios, se traduce de manera indirecta en una disminución de los costos para llevar a cabo las mismas.

Por otro lado, se tiene que para la Universidad, esta investigación tendrá una trascendencia significativa, ya que además de los distintos beneficios que ofrece la recuperación y reutilización de los residuos y disposición inocua de los mismos, servirá de referencia para realizar estudios similares en otros laboratorios, tanto de la Facultad de Ingeniería como de otras facultades, y a su vez contribuirá a fortalecer la consciencia ambientalista dentro de la universidad y a proyectar esta imagen fuera de ella.

Asimismo, este trabajo presenta un aporte metodológico importante, ya que se establecerá un sistema de manejo de residuos líquidos generados en un laboratorio, que permitirá llevar a cabo nuevos proyectos relacionados con el tema o realizar mejoras al mismo.

### **1.5. Limitaciones**

Algunas de las limitaciones que se pueden presentar en el desarrollo de la investigación son:

Los equipos disponibles en los diferentes laboratorios pertenecientes a la Escuela de Ingeniería Química, lo que puede obstruir el desarrollo de la parte experimental de la presente investigación y la puesta en marcha del plan propuesto.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

*En este capítulo se presentan algunos documentos y trabajos anteriores relacionados con este proyecto, los cuales sirvieron de apoyo para el logro del mismo; además de los planteamientos teóricos generales que fundamentan las prácticas realizadas en el Laboratorio de Fisicoquímica, así como también la definición de minimización, recuperación, reutilización y disposición final de residuos químicos.*

#### **2.1. Antecedentes**

En el laboratorio se manejan gran cantidad de productos y se efectúan diversas operaciones que conllevan la generación de residuos, en la mayoría de los casos peligrosos para la salud y el medio ambiente, es por ello que debemos ocuparnos de disminuir los residuos generados y el volumen ya minimizado disponerlo adecuadamente para que no produzcan daño alguno.

Por ello, Osicka, et al. (2005), trabajaron junto con alumnos adscritos a la cátedra de química analítica general de la facultad de agroindustrias de la Universidad Nacional del Nordeste, Argentina, durante el transcurso del año 2004, en la recopilación de información y en la elaboración de procedimientos para el manejo de residuos. En una segunda etapa, trabajaron con 84 alumnos, que cursaron regularmente la asignatura durante el primer cuatrimestre de 2005. Para alcanzar el objetivo planteado implementaron la estrategia de Aula-taller, en la cual, mediante guías de actividades cada grupo de alumnos trabajó los contenidos seleccionados para tal fin. Los principales aspectos trabajados en el aula-taller fueron la gestión, clasificación, tratamiento, neutralización, recuperación y/o eliminación de los residuos químicos empleados en cada uno de los trabajos prácticos. Luego de resolver todas las actividades planteadas, los alumnos discutieron en grupo mediante una puesta en común sobre los aspectos más destacados para elaborar la guía para el manejo de residuos químicos en el laboratorio.



Beneditti (2009), creó un plan para la implementación de la norma ISO 14001 en KNO Environmental Solutions Ltda. En primer lugar se realizó una síntesis sobre el origen y la historia de la familia de normas ISO 14000, luego enfatizó en las características propias de la norma ISO 14001. A continuación se elaboró una caracterización de procesos donde se incluye la descripción de la empresa en cuestión y de su proceso productivo y finalizó con un diagrama en el cual se ilustran las entradas, transformaciones y salidas de cada operación unitaria y el residuo respectivo generado. Se procedió a la identificación de procesos críticos, para ello, se tomó como base una revisión ambiental inicial y una valoración ambiental, cuyo resultado fue una matriz de impacto que muestra los aspectos ambientales significativos a ser considerados.

Ortiz (2009), propuso alternativas para el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos (RSU) no peligrosos en Venezuela, aplicando análisis de ciclo de vida y criterios relevantes integrados. Para ello, realizó un diagnóstico de la situación actual de la generación y gestión de los RSU, mediante el empleo de una escala de Likert modificada. Evaluó los impactos ambientales que surgen de la gestión de los RSU, mediante la técnica del análisis del ciclo de vida. Entre las conclusiones más relevantes se tiene que la gestión de los RSU en Venezuela es un problema complejo, que se mantiene debido a falta de conciencia ciudadana, generación y uso de bienes y servicios altamente contaminantes e inconstancia en políticas ambientales coherentes y perdurables, entre otros aspectos. La evaluación de impacto ambiental realizada indica que la opción de aprovechamiento que incluye reciclaje-compostaje es la que genera mayor cantidad de beneficios, aunque se recomienda la evaluación de la metodología considerando otros escenarios.

Romero (2009), realizó un análisis cualitativo mediante el método geométrico, definiendo estructuralmente las secuencias con uno y múltiples alimentos, generando secuencias termodinámicamente viables y factibles, puesto que cumplen tanto con las restricciones impuestas por los balances de materia como el equilibrio de fases. Se analizó la posibilidad de generar secuencias para la mezcla etanol – agua – benceno, la cual ha sido ampliamente estudiada por Doherty, quien plantea diferentes secuencias



por destilación azeotrópica homogénea y heterogénea, encontrando que para la separación de la mezcla caso de estudio resulta más convincente la segunda opción, debido a que se obtiene los componentes de interés puros y se recupera el agente material.

Salas, et al. (2009), realizaron un escalamiento, a nivel de planta piloto, para el tratamiento de los desechos que se encuentran almacenados en cantidades significativas en el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), como son los desechos acuosos de metales pesados provenientes de los laboratorios y de las escorias del proceso de nitruración. Se contó con la participación del Dr. Katsuhiko Harada, cooperante japonés, quien propuso una metodología de tratamiento que fue probada y adaptada a las características de los desechos peligrosos que se generan en el ITCR y además, se planteó un procedimiento operativo para centralizar el tratamiento de los desechos que se producen en diferentes laboratorios, pero tienen características químicas semejantes, por lo cual pueden ser tratados con el mismo método químico. Para estos casos, sería más sencillo y barato concentrar el tratamiento en un solo lugar, y en el caso de desechos muy peligrosos, cuyo tratamiento y disposición final sean algo complicados de implementar, es recomendable establecer un laboratorio especializado con personal capacitado para su manejo. Para tal fin, se construyó un laboratorio de desechos peligrosos equipado con un reactor, un filtro de lodos y equipos de laboratorio para los análisis. Los métodos probados en la planta piloto para el tratamiento de los desechos acuosos de metales pesados y de escorias con cianuro fueron efectivos.

Por otro lado, Mera, (s.f.), estudió una técnica que permite eliminar compuestos tóxicos y recuperar sustancias de las aguas residuales provenientes de laboratorios de análisis químicos, como los indicadores ácido-base fenolftaleína (F.F) y naranja de metilo (N.M). Estableció sus características y efectos sobre la salud, realizó la caracterización físico-química y la estandarización del proceso fotocatalítico. Entre las conclusiones más importantes se tiene que el conjunto utilizado, fue una buena combinación para la oxidación de los indicadores ácido-base F.F y N.M, debido a que se obtienen porcentajes satisfactorios de decoloración y mineralización y los datos del estudio



cinético realizado a cada uno de los indicadores analizados en esta investigación, muestran para ambos casos que las reacciones de degradación son de primer orden en las etapas iniciales del proceso fotocatalítico.

Yerga, D (s. f.), realizó una síntesis sobre la elaboración de un plan de gestión de residuos químicos en un laboratorio, teniendo en cuenta diversos factores, entre ellos: la disposición de los recursos necesarios para pagar el coste del plan y la valoración de cualquier forma de minimización de residuos que sea rentable. Para ello, realizó la clasificación de los residuos, propuso alternativas para la minimización de los mismos y expuso la formación e información que debe conocer el personal que manipula sustancias químicas y los tratamientos generales de los residuos que éstas puedan producir. Entre las conclusiones más relevantes se tiene que, se deben dar todas las facilidades posibles al ente encargado de la recolección y que haya una colaboración mutua, para que esta sea lo más eficaz posible; además tratar que el plan se lleve a cabo con periodicidad, lo cual dependerá de la cantidad de residuos generados por el laboratorio, y de la peligrosidad que éstos tengan.

## 2.2. Definición de términos

**Almacenamiento de desechos peligrosos:** depósito temporal de desechos peligrosos bajo condiciones controladas y ambientalmente seguras, sin que se contemple ninguna forma de tratamiento ni transformación inducida de los desechos almacenados. (Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, 2001).

**Análisis de riesgo:** identificación y evaluación sistemática de la probabilidad de ocurrencia de una situación adversa a la salud o al ambiente, como consecuencia de la exposición a un agente (material o desecho peligroso). (Ley penal del ambiente, 1992).

**Aprovechamiento de materiales peligrosos recuperables:** las operaciones o procesos destinados a extraer y utilizar materias primas o energía de materiales recuperables. (Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, 2001).



**Desecho:** material, sustancia, solución, mezcla u objeto para el que no se prevé un destino inmediato y debe ser eliminado o dispuesto en forma permanente. (Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, 2001).

**Desecho peligroso:** material simple o compuesto, en estado sólido, líquido o gaseoso que presenta propiedades peligrosas o que está constituido por sustancias peligrosas, que conserva o no sus propiedades físicas, químicas o biológicas y para el cual no se encuentra ningún uso, por lo que debe implementarse un método de disposición final. El término incluye los recipientes que los contienen o los hubieren contenido. (Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, 2001).

**Disposición final de desechos peligrosos:** operación de depósito permanente que permite mantener minimizadas las posibilidades de migración de los componentes de un desecho peligroso al ambiente, de conformidad con la reglamentación técnica que rige la materia. (Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, 2001).

**Eliminación de desechos peligrosos:** proceso de transformación de los desechos peligrosos, previo a la disposición final, cuyo objetivo no sea el aprovechamiento de alguno de sus componentes, ni de su contenido energético, ni conduzca a la recuperación de los compuestos resultantes. (Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, 2001).

**Generadores de desechos peligrosos:** Persona natural o jurídica que desarrolla una actividad que genere desechos peligrosos. (Ley penal del ambiente, 1992).

**Manejadores de desechos peligrosos:** Persona natural o jurídica autorizada para realizar cualquiera de las operaciones y actividades comprendidas en el manejo de los desechos peligrosos (almacenamiento, envasado, transporte, tratamiento, eliminación y disposición final). (Ley penal del ambiente, 1992).



**Manejo:** conjunto de operaciones dirigidas a darle a las sustancias, materiales y desechos peligrosos el destino más adecuado, de acuerdo con sus características, con la finalidad de prevenir daños a la salud y al ambiente. Comprende la generación, minimización, identificación, caracterización, segregación, recolección, almacenamiento, transporte, tratamiento, disposición final o cualquier otro uso que los involucre. (Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, 2001).

**Material peligroso:** sustancia o mezcla de sustancias que por sus características físicas, químicas o biológicas es capaz de producir daños a la salud, a la propiedad o al ambiente. Incluye los materiales peligrosos recuperables. Para los fines de la presente Ley, los materiales peligrosos estarán clasificados de acuerdo con lo especificado en la reglamentación técnica vigente y en los convenios o tratados internacionales ratificados válidamente por la República. (Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, 2001).

**Material peligroso recuperable:** material que reviste características peligrosas que después de servir para un propósito específico todavía conserva propiedades físicas y químicas útiles y, por lo tanto, puede ser reusado, reciclado, regenerado o aprovechado con el mismo propósito u otro diferente. (Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, 2001).

**Peligro:** fuente u origen de un riesgo a la salud o al ambiente; amenaza que puede causar un accidente con consecuencias a la salud o al ambiente. (Ley penal del ambiente, 1992).

**Reciclaje de materiales peligrosos:** el empleo de materiales peligrosos recuperables para ser utilizados de nuevo como materia útil, a fin de obtener productos que puedan ser o no similares al producto original. (Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, 2001).



**Recuperación de materiales peligrosos:** operaciones o procesos que comprenden la recolección, transpone, almacenamiento, tratamiento o transformación de materiales peligrosos para reuso, reciclaje o aprovechamiento. (Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, 2001).

**Regeneración de materiales peligrosos:** el proceso de purificación o reelaboración de materiales peligrosos para devolverle al material las mismas características que tenía en su estado original. (Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, 2001).

**Reuso de materiales peligrosos:** la utilización en el mismo proceso del material peligroso recuperado en el ciclo de producción. (Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, 2001).

**Riesgo químico:** probabilidad de que una o varias especies químicas interactúen entre ellas o con el ambiente, dando como resultado una acción de: combustión, liberación de gases peligrosos, inflamabilidad, explosión, toxicidad, corrosión o reactividad química, que ponga en peligro la salud, el medio productivo o el ambiente. (Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, 2001).

**Sustancia:** cualquier elemento o compuesto químico en estado físico sólido, líquido o gaseoso que presenta características propias. (Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, 2001).

**Sustancia peligrosa:** sustancia líquida, sólida o gaseosa que presenta características explosivas, inflamables, reactivas, corrosivas, combustibles, radiactivas, biológicas perjudiciales, en cantidades o concentraciones tales que representa un riesgo para la salud y el ambiente. (Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, 2001).

**Tratamiento de desechos peligrosos:** las operaciones realizadas con la finalidad de minimizar o anular algunas de las características peligrosas del desecho para facilitar su manejo. (Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, 2001).



**Tecnología limpia:** procesos o equipos utilizados en la producción que poseen una baja tasa de generación de residuos, según las normas. (Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, 2001).

### **2.3. Fundamentos teóricos que sustentan las prácticas realizadas en el LFQ**

Seguidamente se presentan las bases teóricas que respaldan los objetivos planteados en cada una de las prácticas llevadas a cabo en el LFQ.

#### **2.3.1. Determinación del calor de combustión de una muestra problema**

Mediante la combustión en una bomba calorimétrica, del ácido benzoico y una sustancia desconocida, se determina primeramente la capacidad calorífica del equipo y el calor de combustión del compuesto problema.

##### **➤ Calor de formación**

Se denomina calor de formación el cambio térmico involucrado en la formación de 1 mol de compuesto, a partir de sus elementos constituyentes. Llámese calor de formación estándar el calor de formación del compuesto referido a la temperatura de 25 °C (298 K) y a 1 atm (760 mmHg). (Maron y Prutton, 1999).

##### **➤ Calor de combustión**

Llámese calor de combustión el efecto térmico de la reacción de combustión completa de un mol del compuesto dado hasta los óxidos superiores. Se denomina calor de combustión estándar el calor de combustión referido a condiciones normales, es decir, a 25 °C (298 K) y a 1 atm (760 mmHg). (Maron y Prutton, 1999).

##### **➤ Bomba calorimétrica**

En general la determinación de los calores de combustión se efectúa en un aparato especial, la bomba calorimétrica (figura 2.1). Para que la combustión se verifique enérgicamente, se introduce en la bomba oxígeno puro a alta presión. En la cápsula de la bomba calorimétrica se coloca una cantidad ya pesada de la sustancia a investigar y se enciende dejando pasar corriente eléctrica por el espiral de alambre. La bomba se

instala en un calorímetro y se determina la cantidad de calor que se desprende durante la combustión. (Levine, 1990).

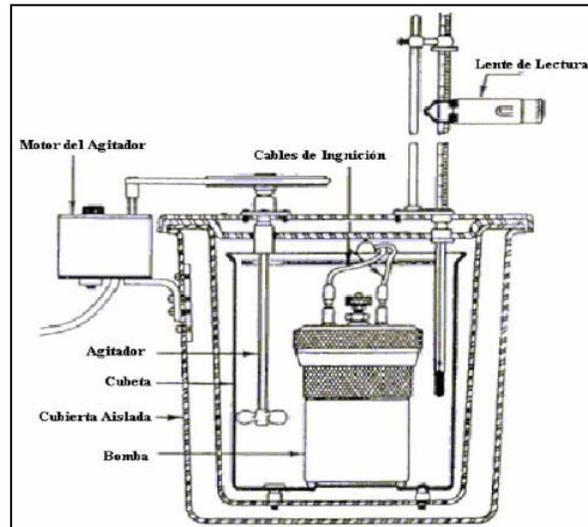


Figura 2.1. Diagrama de bomba calorimétrica

### ➤ Calorimetría

La calorimetría es la rama de la termodinámica que mide la cantidad de energía generada en procesos de intercambio de calor. El calorímetro es el instrumento que mide dicha energía. El tipo de calorímetro de uso más extendido consiste en un envase cerrado y perfectamente aislado con agua, un dispositivo para agitar y un termómetro. (Farrington, 1973).

#### 2.3.2. Equilibrio líquido-vapor del sistema binario n-hexano-etanol

La evaporación o vaporización es el proceso en el cual un líquido se transforma en vapor, de esta forma si se coloca cierta cantidad de líquido en un recipiente y se cierra, a continuación se suministra cierta cantidad de energía de manera tal que ocurra el fenómeno de la vaporización, llegará un momento donde el número de moléculas que dejan el líquido es igual al número de moléculas que regresan a él, en este instante se dice que existe un equilibrio entre el líquido y el vapor. (Castellan, 1983).



- **Fases:** es una parte uniforme de un sistema en términos de composición química y propiedades físicas. Está separada de otras partes homogéneas del sistema por medio de superficies límites. (Castellan, 1983).
- **Componentes:** se refiere al número de constituyentes químicamente independientes que son necesarios para describir la composición de cada fase. (Castellan, 1983).

$$C = S - n - m \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde:

$S$ : Número de sustancias, (adim)

$n$ : Número de condiciones de equilibrio, (adim)

$m$ : Número de concentraciones iniciales, (adim)

### ➤ Ley de Raoult

Esta sencilla relación establece que la presión de vapor parcial del constituyente volátil de una solución es igual a la presión del vapor del constituyente puro multiplicada por la fracción molar de tal constituyente en la solución. (Maron y Prutton, 1999).

$$p = X * p^{\circ} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

$p$ : Presión de vapor parcial del constituyente volátil, (kPa)

$X$ : Fracción molar del constituyente volátil, (adim)

$p^{\circ}$ : Presión de vapor del constituyente puro, (kPa)

### ➤ Equilibrio líquido-vapor en soluciones no ideales

Los diagramas de fase líquido-vapor de los sistemas no ideales se obtienen midiendo la presión y la composición del vapor en el equilibrio con un líquido de composición conocida. Si la disolución es sólo ligeramente no ideal, las curvas se parecen a las de las disoluciones ideales, y no existen cambios significativos. Si por el contrario, la disolución presenta una desviación tan considerable del comportamiento ideal como que exista un máximo o un mínimo en la curva de presión frente a la composición, se produce la aparición de un nuevo fenómeno. (Ver figura 2.2)

Los azeótropos pueden ser de temperatura de ebullición mínima (negativos) o máxima (positivos). En la figura 2.2 (B) se presenta un azeótropo de punto de ebullición mínimo a presión constante. (Castellan, 1983).

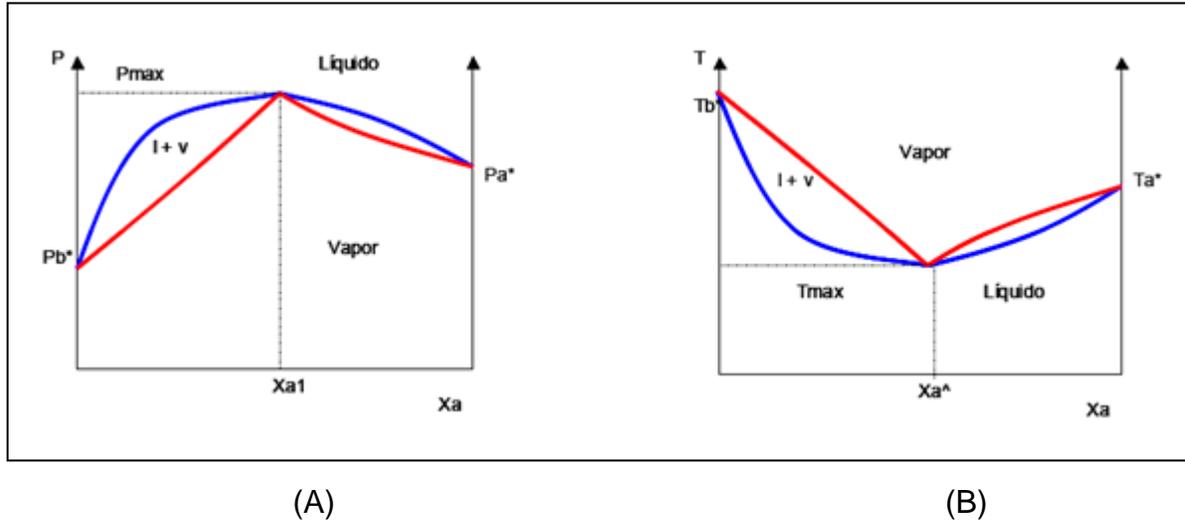


Figura 2.2. (A) Diagrama de fases líquido-vapor de presión frente a composición.  
(B) Diagrama correspondiente de temperatura frente a composición.

### 2.3.3. Equilibrio líquido-líquido del sistema ternario: tolueno-ácido acético-agua

En esta práctica se estudia la solubilidad mutua de pares de líquidos y se establece el equilibrio líquido-líquido para el sistema ternario tolueno-ácido acético-agua.

#### ➤ Diagramas de fase

El comportamiento de los sistemas en equilibrio se estudia por medio de gráficos que se conocen como diagramas de fase; se obtienen graficando en función de variables como presión, temperatura y composición y el sistema en equilibrio queda definido para cada punto. (Maron y Prutton, 1999).

#### ➤ Triángulo de concentraciones

El método del triángulo equilátero sugerido por Stokes y Roozeboom es el más general y el elegido para representar las condiciones de un sistema ternario; tiene la enorme ventaja de ser una figura muy regular con bastante simetría, y con una geometría muy simple. (Maron y Prutton, 1999).

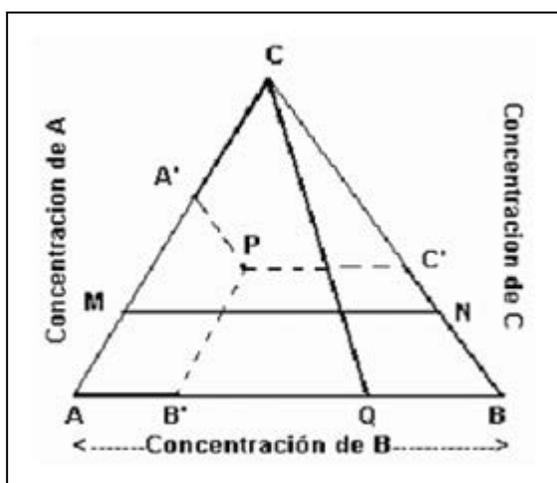


Figura 2.3. Propiedades geométricas en triángulo de concentraciones

#### 2.3.4. Aplicación de medidas conductimétricas en la determinación de variables físico-químicas para diferentes electrolitos

Esta práctica tiene como objetivos la determinación de la variación de la conductividad de soluciones electrolíticas, el estudio de la diferencia entre el comportamiento de dicha propiedad con la concentración para electrolitos fuertes y débiles, entre otros.

##### ➤ Soluciones

Una solución es una mezcla homogénea de especies químicas dispersas a escala molecular (en casos particulares también de átomos, iones). (Castellan, 1983).

##### ➤ Electrolitos

Se denominan electrolitos aquellas sustancias, especialmente sales, ácidos inorgánicos y bases que al disolverse en agua o un solvente apropiado originan soluciones que conducen la electricidad en mayor o menor proporción. (Maron y Prutton, 1999).

##### ➤ Conductancia

Propiedad que poseen los cuerpos, que consiste en pasar a través de su propia masa, la electricidad o el calor. Es el recíproco de la resistencia, se representa por la letra "L" y se mide en siemens (1/ohmio). A mayor resistencia de un conductor, menor conductancia presentará. (Maron y Prutton, 1999).



Es decir:

$$L = \frac{1}{R} = \frac{1}{\rho} \left( \frac{A}{l} \right) \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde:

$L$ : Conductancia, ( $\text{ohmio}^{-1}$ )

$R$ : Resistencia, (ohmio)

$A$ : Área de la sección transversal del conductor, ( $\text{cm}^2$ )

$l$ : Longitud del conductor, (cm)

### ➤ **Conductancia específica**

La conductancia específica que se designa como  $L_s$ , puede considerarse como la conductancia de 1 cubo de 1 cm de arista de cierto material y se expresa como  $1/\rho$  (Maron y Prutton, 1999); por tanto, la ecuación se escribe como:

$$L = L_s \left( \frac{A}{l} \right) \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Donde:

$L_s$ : Conductancia específica, ( $\text{ohmios}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ )

Quedando entonces:

$$L_s = \left( \frac{l}{A} \right) L = K * L \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Donde:

$K$ : Constante de la celda, ( $\text{cm}^{-1}$ )

### ➤ **Variación de la conductancia con la concentración**

Para electrolitos fuertes a concentraciones hasta de varios equivalentes por litro, la conductancia específica aumenta marcadamente con el incremento de concentración. En contraste, las conductancias específicas de los electrolitos débiles comienzan con valores más bajos en soluciones diluidas y se incrementan mucho más gradualmente. En ambos casos el incremento en la conductancia con la concentración se debe al incremento en el número de iones por unidad de volumen de la solución. En los electrolitos fuertes el número de iones por centímetro cúbico se incrementa en proporción a la concentración. En los débiles, sin embargo, el aumento puede ser



menos pronunciado a causa del cambio de la ionización parcial del soluto, y en consecuencia la conductancia no varía tan rápidamente como en los electrolitos fuertes. (Maron y Prutton, 1999).

### **2.3.5. Adsorción de ácido oxálico sobre carbón activado a partir de soluciones acuosas**

Consiste en el enriquecimiento de un componente en la interfase en comparación con el interior de la fase, en donde, la sustancia atraída hacia la superficie se llama fase adsorbida y la que se adhiere se llama adsorbente. La adsorción es un proceso por el cual los átomos en la superficie de un sólido o líquido, atraen y retienen moléculas de otros compuestos. (Maron y Prutton, 1999).

#### ➤ **Clasificación de la adsorción**

Se clasifica en: adsorción física y química. Si la interacción entre el adsorbato y la superficie del adsorbente se debe sólo a las fuerzas de Van Der Waals, se trata de **adsorción física** o de Van Der Waals. Las moléculas adsorbidas están ligadas débilmente a la superficie y los calores de adsorción son bajos (unos cuantos kJ). Si las moléculas adsorbidas reaccionan químicamente con la superficie, el fenómeno se denomina **adsorción química**. Se rompen y forman enlaces, el calor de adsorción tiene intervalos de valores análogos a los de una reacción química, desde unos pocos hasta 400 kJ. Los enlaces de adsorción son iónicos o covalentes. (Maron y Prutton, 1999).

#### ➤ **Isotermas de adsorción**

Se llama isoterma de adsorción a la relación entre la cantidad de sustancia adsorbida por un adsorbente y la presión o concentración de equilibrio del adsorbato a una temperatura constante. Usualmente, la cantidad adsorbida depende de la cantidad de adsorbente. (Maron y Prutton, 1999).

En el modelo de Langmuir se supone que la adsorción se produce hasta que una monocapa de moléculas de adsorbato cubra totalmente la superficie del adsorbente, una vez cubierto el adsorbente por la monocapa de adsorbato la adsorción termina.



La isoterma de Langmuir suele expresarse mediante la ecuación:

$$\theta = \frac{K * C}{1 + K * C} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Donde:

$C$ : Concentración del adsorbato en la disolución cuando el equilibrio se ha alcanzado, (mol/L)

$\theta$ : La fracción de superficie de adsorbente que está cubierta por el adsorbato (a la concentración  $C$ ), (adim)

$K$ : Constante que depende de la temperatura a la que se produce la adsorción, (L/mol)

Luego, haciendo uso de la definición de fracción de superficie de adsorbente recubierta por adsorbato ( $\theta$ ), la superficie ocupada por una molécula de adsorbato ( $S$ ), se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{C}{N} = \frac{1}{N_T} * C + \frac{1}{K * N_T} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Donde:

$N$ : Número de moles adsorbidos a la concentración  $C$ , (mol)

$N_T$ : Número de moles necesarios para cubrir toda la superficie del adsorbente, (mol)

De acuerdo a esta expresión, la representación  $C/N$  frente a  $C$  será una línea recta de pendiente  $1/N_T$  y ordenada en el origen  $1/K * N_T$ .

## 2.4. Residuos químicos generados en laboratorios

En el laboratorio, se pueden distinguir los siguientes grupos:

- Residuos inertes (de origen mineral, escombros).
- Residuos no peligrosos (asimilables a municipales).
- Residuos especiales (tóxicos o peligrosos).

### 2.4.1. Residuos tóxicos en pequeña cantidad

Los residuos líquidos generados en el laboratorio, por sus características, no son fácilmente gestionables utilizando los circuitos establecidos, que están diseñados para residuos de origen industrial (volúmenes grandes y con poca diversidad). A este tipo de



residuos se les denomina "residuos tóxicos en pequeña cantidad" (RTPC). (Gadea, 1994)

Características de los RTPC:

- Poca cantidad.
- Amplia variedad.
- Peligrosidad/Toxicidad.

#### 2.4.2. Clasificación de los residuos

De entre los residuos generados en los laboratorios, se exponen los siguientes grupos de clasificación de residuos peligrosos. (Ysern y Clavero, 1998)

**Grupo I:** Disolventes halogenados.

**Grupo II:** Disolventes no halogenados.

**Grupo III:** Disoluciones acuosas.

**Grupo IV:** Ácidos.

**Grupo V:** Aceites.

**Grupo VI:** Sólidos.

**Grupo VII:** Especiales.

##### ➤ **Grupo I: Disolventes halogenados**

Se entiende por tales, los productos líquidos orgánicos que contienen más del 2% de algún halógeno.

##### ➤ **Grupo II: Disolventes no halogenados**

Se clasifican aquí los líquidos orgánicos inflamables que contengan menos de un 2% en halógenos. Son productos inflamables y tóxicos y, entre ellos, se pueden citar los alcoholes, aldehídos, amidas, cetonas, ésteres, glicoles, hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos y nitrilos.



➤ **Grupo III: Disoluciones acuosas**

Este grupo corresponde a las soluciones acuosas de productos orgánicos e inorgánicos. Se trata de un grupo muy amplio y por eso es necesario establecer divisiones y subdivisiones, tal como se indica a continuación. Estas subdivisiones son necesarias ya sea para evitar reacciones de incompatibilidad o por requerimiento de su tratamiento posterior:

- **Soluciones acuosas inorgánicas:** como las soluciones acuosas básicas de hidróxido de sodio, hidróxido de potasio.
- **Soluciones acuosas de metales pesados:** níquel, plata, cadmio, selenio, fijadores.
- **Soluciones acuosas de cromo VI.**
- **Otras soluciones acuosas inorgánicas:** reveladores, sulfatos, fosfatos, cloruros.
- **Soluciones acuosas orgánicas o de alta DQO:** soluciones acuosas de colorantes, entre otros.
- **Soluciones de fijadores orgánicos:** formol, fenol, glutaraldehído.
- **Mezclas agua/disolvente:** eluyentes de cromatografía, metanol/agua.

➤ **Grupo IV: Ácidos**

Corresponden a este grupo los ácidos inorgánicos y sus soluciones acuosas concentradas (más del 10% en volumen). Debe tenerse en cuenta que su mezcla, en función de la composición y la concentración, puede producir alguna reacción química peligrosa con desprendimiento de gases tóxicos e incremento de temperatura.

➤ **Grupo V: Aceites**

Este grupo corresponde a los aceites minerales derivados de operaciones de mantenimiento.

➤ **Grupo VI: Sólidos**

Se clasifican en este grupo los productos químicos en estado sólido de naturaleza orgánica e inorgánica y el material desechable contaminado con productos químicos.



Se establecen los siguientes subgrupos de clasificación: sólidos orgánicos, sólidos inorgánicos y material desechable contaminado.

➤ **Grupo VII: Especiales**

A este grupo pertenecen los productos químicos, sólidos o líquidos, que, por su elevada peligrosidad, no deben ser incluidos en ninguno de los otros grupos, así como los reactivos puros obsoletos o caducados.

### **2.4.3. Manejo de residuos químicos**

A continuación se detallan las etapas minimización, recuperación, reutilización y disposición final perteneciente al manejo de residuos químicos.

➤ **Minimización**

La minimización de residuos en el laboratorio es un proceso muy importante, en el que se debe prestar especial atención. Una parte muy importante de los posibles residuos generados en un laboratorio, se puede reducir, siempre y cuando se tomen unas medidas oportunas y se lleven a cabo por el personal. (Yerga, s.f.)

La minimización incluye la reducción en el origen, ya que ésta es la más cercana a la disminución de los residuos y puede verse como una actividad que reduce o elimina la generación de un residuo químico peligroso en un proceso. Tiene como objetivo evitar la generación del residuo o bien reducir el peligro y la cantidad, la cual se fundamenta con buenas prácticas y modificación de operaciones.

➤ **La recuperación**

Es una técnica que consiste en tratar los desechos del laboratorio, para que pueda ser obtenida alguna sustancia contenida en ellos considerada peligrosa o especial y que no se debe eliminar tal cual. (Yerga, s.f.)



Este procedimiento consiste en efectuar un tratamiento al residuo que permita recuperar algún o algunos elementos o sus compuestos, que su elevado valor o toxicidad hace aconsejable no eliminar.

### ➤ **La reutilización**

Consiste en volver a utilizar una sustancia que provenía de un residuo y se ha conseguido recuperar mediante algún tratamiento. Con esto se consigue que la sustancia que presumiblemente iba a aumentar la cantidad de residuos vuelva a ser útil para un nuevo proceso químico. (Yerga, s.f.)

Antes de considerar a una sustancia un residuo tiene que pasar un pequeño test: ¿es posible recuperar la sustancia para que sea útil?, ¿es posible una reutilización de la sustancia? Si estas preguntas son contestadas con un no, entonces la sustancia se puede considerar un residuo químico y debe ser tratada convenientemente.

### ➤ **Disposición**

Incluye los procedimientos para la disposición de los residuos, son variados y el que se apliquen unos u otros dependerá de los factores mencionados anteriormente, siendo generalmente los más utilizados, los siguientes:

- **Vertido:** se pueden desechar residuos no peligrosos siempre que no superen los límites establecidos por las leyes, mediante diluciones. También se pueden desechar residuos peligrosos siempre y cuando se haya eliminado la característica que lo hacía peligroso, mediante neutralización o algún tratamiento. El vertido se puede realizar directamente a las aguas residuales o bien a un vertedero. (Yerga, s.f.).
- **Incineración:** consiste en la combustión de los residuos. Se pueden tratar residuos peligrosos, y no peligrosos, muy usada para residuos de tipo biológico y orgánico. Se debe controlar la emisión de gases durante la incineración de las sustancias.



Los residuos son quemados en un horno y reducidos a cenizas. Debe controlarse la temperatura y la posible toxicidad de los humos producidos. (Yerga, s.f.).

#### 2.4.4. Tratamiento de residuos

A continuación se explican algunos métodos mediante los cuales pueden ser tratados los residuos químicos. (Tratamiento de residuos, 2009)

##### ➤ **Métodos químicos**

Entre estos métodos se tienen:

- **Óxido/reducción:** tiene como objetivo la detoxificación de los residuos por la transformación química de los componentes mediante la adición de un agente oxidante. Para el tratamiento de residuos tóxicos mediante esta técnica, se añade un agente oxidante para oxidar los componentes de interés de los residuos, los cuales actúan como agentes reductores.
- **Neutralización:** el principal propósito de este tratamiento es ajustar el pH del residuo entre 6 y 9 para poder ser descargado por el desagüe. Frecuentemente, los desechos alcalinos son mezclados con los desechos ácidos, para de esta manera lograr la neutralización de ambos.

Esta técnica aunque sencilla puede presentar algunos problemas con la evolución de contaminantes volátiles, excesivo calor generado y corrosión. Para desechos ácidos, el uso de agentes alcalinos para su neutralización, puede tener la desventaja de precipitar otros componentes como iones metálicos. Los agentes más comunes para neutralizar una base son ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, sulfato ácido de sodio. Para neutralizar ácidos se utilizan hidróxido de sodio, carbonato de sodio, carbonato de calcio e hidróxido de calcio.



### ➤ **Métodos biológicos**

Estos métodos utilizan mecanismos biológicos y bioquímicos para llevar a cabo un cambio químico en las propiedades del contaminante. Las propiedades químicas son alteradas mediante la acción de una amplia variedad de microorganismos que causan la descomposición del compuesto. Los contaminantes sirven como alimentos para los microorganismos.

### ➤ **Métodos físicos**

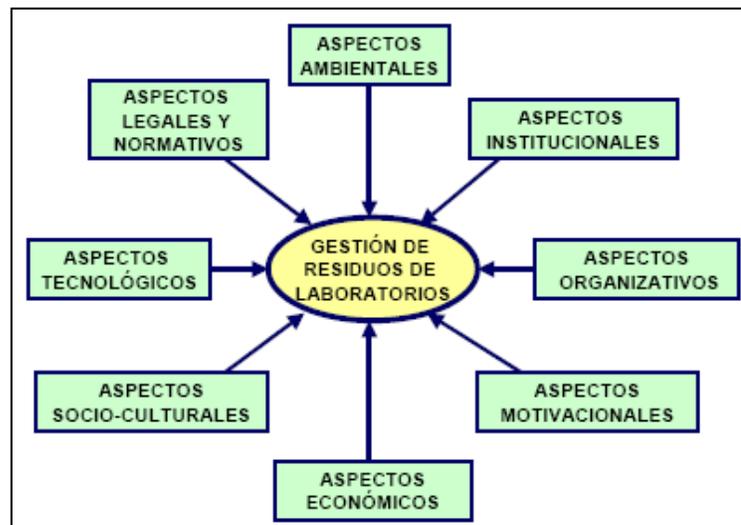
Dentro de los tratamientos físicos típicamente empleados para los residuos acuosos se tienen: la evaporación, evaporación solar, filtración, adsorción con carbón activado, despojamiento con vapor o aire y la extracción líquido-líquido.

La evaporación y la filtración se emplean cuando el residuo contiene una alta concentración de sólidos u otro material separable de la fase acuosa. La adsorción con carbón activado, el desplazamiento con vapor o aire y la extracción líquido-líquido son tratamientos secundarios, terciarios o cuaternarios, dirigidos a la remoción de contaminantes orgánicos específicos en el residuo basados en su naturaleza química y física.

## **2.5. Gestión de residuos. Una necesidad en la organización del laboratorio**

Se entiende por gestión el conjunto de actividades encaminadas a dar a los residuos tóxicos y peligrosos el destino final más adecuado de acuerdo con sus características; comprende las siguientes operaciones: recolección, clasificación, almacenamiento, transporte, tratamiento, recuperación y eliminación. (Gadea, 1994).

Se deben tener en cuenta los siguientes aspectos para llevar a cabo las operaciones para la gestión de residuos, tal como se observa en la figura 2.4.



Fuente: Gadea, 1994.

Figura 2.4. Aspectos a considerar en la gestión de residuos de laboratorios químicos

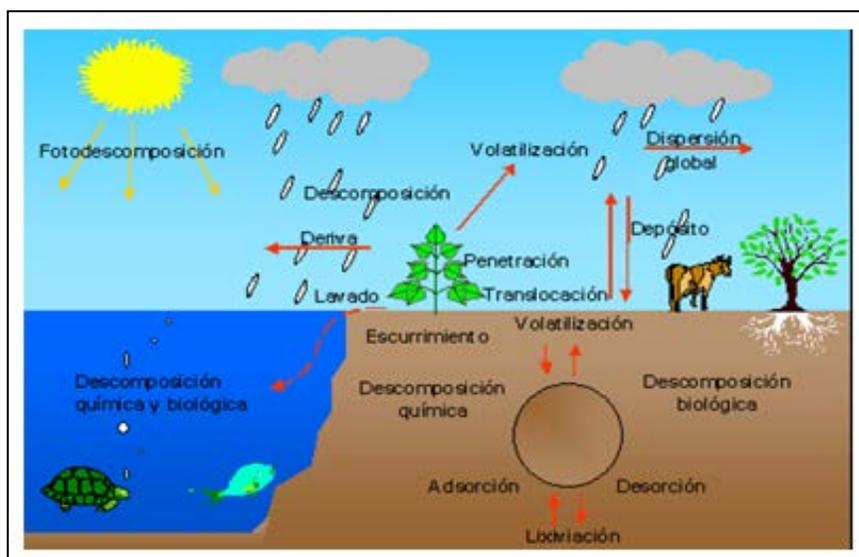
## 2.6. Propiedades físicas y químicas que hacen riesgosas a las sustancias

Entre las propiedades que inciden en la peligrosidad de las sustancias químicas resaltan aquellas que favorecen su movilización a través del aire, como lo es su presión de vapor que determina su volatilidad; su solubilidad en agua, que influye en su infiltración en el suelo hacia los mantos freáticos; su coeficiente de reparto octanol/agua, que permite conocer su capacidad de penetrar a través de las membranas biológicas y de acumularse en el tejido adiposo así como su persistencia, que indica cual es la vida media de las sustancias en el ambiente conservando sus propiedades tóxicas. (Peligrosidad de las sustancias químicas, s.f.).

### 2.6.1. Destino y transporte de las sustancias en el ambiente

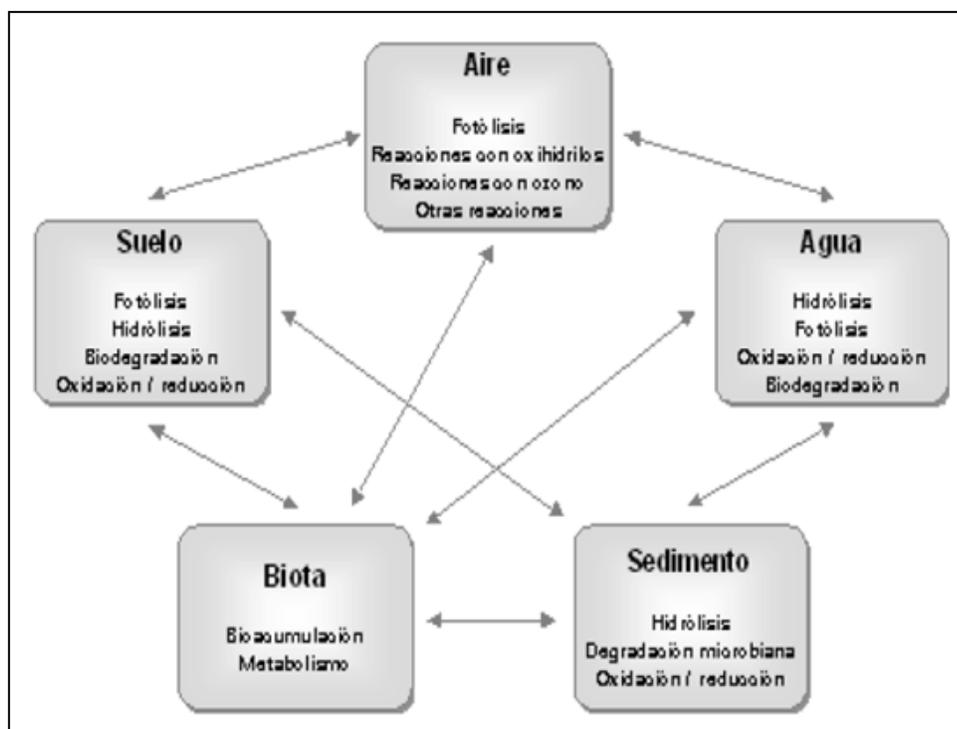
Entre los procesos que más influyen sobre el destino y transporte de las sustancias químicas en el ambiente y que pueden incrementar o disminuir la posibilidad de exposición a ellas y por lo tanto incidir en sus riesgos, se encuentran su adsorción a las partículas del suelo y sedimentos que impide su movilización, así como su degradación química, microbiológica o por la acción de los rayos solares (figuras 2.5 y 2.6). Así por ejemplo, la capacidad toxicológica de las sustancias puede reducirse o eliminarse al romperse los enlaces de las moléculas por la acción de la luz (fotólisis), descomponerse

por la acción del agua (hidrólisis) y transformarse por la acción del oxígeno (oxidación), entre otros mecanismos. (Peligrosidad de las sustancias químicas, s.f.).



Fuente: Peligrosidad de las sustancias químicas, s.f.

Figura 2.5. Destino y transporte de las sustancias en el ambiente



Fuente: Peligrosidad de las sustancias químicas, s.f.

Figura 2.6. Mecanismos que influyen en el destino y transporte de sustancias químicas



### **2.6.2. Destino y reacciones de las sustancias en los organismos vivos**

Lo mismo que ocurre en la naturaleza respecto del destino y transporte de las sustancias químicas, sucede en los organismos una vez que ingresan en estos, ya que distintos procesos van a influir en su detoxificación, en la reparación de los daños que producen y en su eliminación con lo cual reducen sus riesgos, mientras que otros pueden favorecer que ejerzan sus efectos tóxicos.

Así por ejemplo, aquellas sustancias que son capaces de penetrar a través de las membranas celulares, pueden ser metabolizadas por enzimas que las activan o las inactivan, pueden ser transportadas a diferentes sitios como el tejido adiposo o los huesos en donde quedan “secuestradas”, pueden llegar a dañar a moléculas o receptores celulares intrascendentes por lo cual no afectarán a los organismos, o alterar a otros que son críticos y que por lo tanto al ser modificados se traducirán en manifestaciones patológicas de intoxicación. Algunas lesiones pueden también ser reparadas como ocurre con las del material genético, o bien aunque suceda una transformación celular como resultado de una mutación, no necesariamente se desarrolla un cáncer, si no intervienen otros factores que promuevan la proliferación de las células mutadas o si funcionan los mecanismos de defensa inmunológica. (Peligrosidad de las sustancias químicas, s.f.).

### **2.7. Desarrollo sustentable**

Proceso de cambio continuo y equitativo para lograr el máximo bienestar social, mediante el cual se procura el desarrollo integral, con fundamento en medidas apropiadas para la conservación de los recursos naturales y el equilibrio ecológico, satisfaciendo las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las generaciones futuras. (Ley Orgánica del Ambiente, 2006).

#### **2.7.1. Química sostenible**

La química sostenible (o Green Chemistry) puede definirse como el diseño de productos y procesos químicos que reduzcan o eliminen el uso y generación de sustancias peligrosas. La química sostenible junto con la ingeniería química sostenible tienen como objetivo contribuir al desarrollo sostenible, mediante la puesta a punto de nuevas

tecnologías que provean a la sociedad con los productos que necesitamos, pero de una forma ambientalmente responsable. (Loayza, 2007).

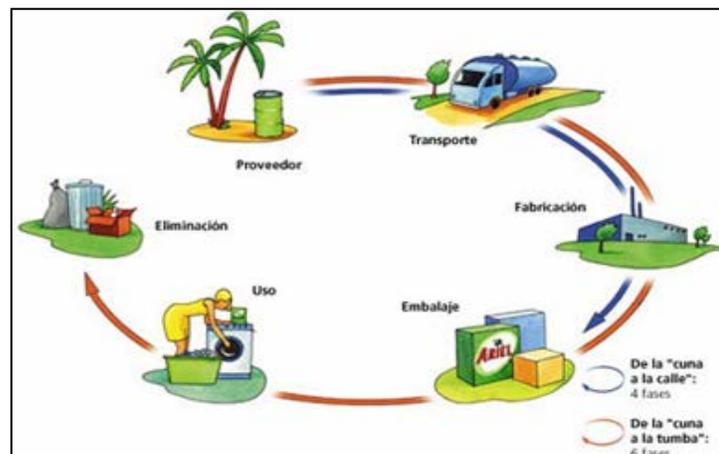
### 2.7.2. Educación ambiental

Proceso continuo, interactivo e integrador, mediante el cual el ser humano adquiere conocimientos y experiencias, los comprende y analiza, los internaliza y los traduce en comportamientos, valores y actitudes que lo preparen para participar protagónicamente en la gestión del ambiente y el desarrollo sustentable. (Ley Orgánica del Ambiente, 2006).

### 2.8. Ciclo de vida

El impacto ambiental de un producto inicia con la extracción de las materias primas y termina cuando la vida útil del producto finaliza, convirtiéndose en un residuo que ha de ser gestionado adecuadamente. Durante la fabricación, las empresas deben evaluar el impacto ambiental que tiene su proceso, además tienen la responsabilidad sobre el impacto que ocasionan las partes involucradas en el proceso hasta que el producto llega al cliente consumidor, (por ejemplo proveedores, distribuidores y consumidores). (Romero, 2003).

Esta cadena, que va 'desde el nacimiento hasta la tumba' es lo que se denomina ciclo de vida de un producto.



Fuente: Procter&Gamble, 2005

Figura 2.7. Etapas del ciclo de vida de un producto



### **2.9. Hojas de datos de seguridad de los materiales (MSDS)**

Las hojas de datos de seguridad de los materiales deben ser proporcionadas por el proveedor de productos químicos o de reactivos de laboratorio. Estas se conocen también por sus siglas en inglés MSDS (Material Safety Data Sheet). (Loayza, 2008)

Una MSDS contiene generalmente la siguiente información:

- 1.- Nombre del producto y sinonimia (u otros nombres comunes)
- 2.- Nombre, dirección y teléfono del fabricante
- 3.- Composición e ingredientes peligrosos
- 4.- Riesgos posibles
- 5.- Límites seguros de exposición
- 6.- Medidas de primeros auxilios
- 7.- Medidas en caso de incendio
- 8.- Medidas en caso de derrames
- 9.- Medidas de protección en almacenamiento y manipulación
- 10.- Medidas de protección personal para limitar exposición
- 11.- Propiedades físicas y químicas
- 12.- Estabilidad y reactividad
- 13.- Indicaciones referentes a toxicología
- 14.- Indicaciones referentes a ecología
- 15.- Eliminación de residuos
- 16.- Informaciones sobre transporte
- 17.- Reglamentos y disposiciones legales
- 18.- Peligros para la salud
- 19.- Datos varios
- 20.- Teléfonos de emergencia

### **2.10. Bolsa de residuos de laboratorio**

Se refiere a un sistema de información entre los diversos laboratorios (dependencias) de una institución; mediante la cual, los residuos generados por uno de estos pueden



ser utilizados por otros y viceversa. De esta forma es posible cerrar el ciclo de un residuo químico. (Loayza, 2005)

Entre las principales funciones de la bolsa de residuos de laboratorio se tienen:

- Difundir información sobre la disponibilidad de residuos de laboratorio dentro de las diferentes dependencias de la institución.
- Establecer vínculos entre las dependencias generadoras de residuos y las dependencias interesadas en aprovecharlos.
- Establecer una base de datos.
- Identificar el uso alternativo de los residuos generados.

Las ventajas son tanto para la institución como para la salud y el ambiente; entre las principales se cuentan:

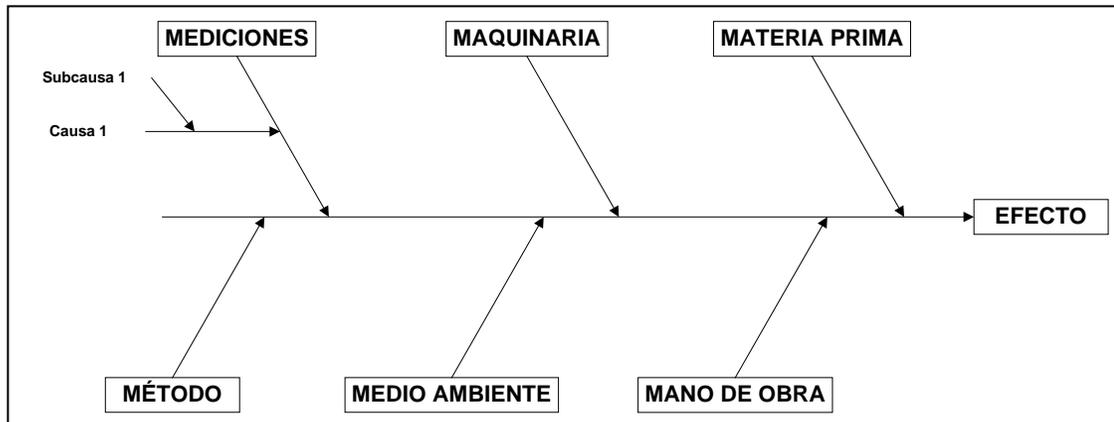
- Menor consumo de reactivos.
- Reducción de los residuos que van a disposición final.
- Disminución de los costos de disposición de los residuos.
- Diseño de nuevos métodos para el reaprovechamiento de los residuos.
- Protección de la salud del personal y de la comunidad; así como, la reducción de la contaminación ambiental debido a la gestión inadecuada de los residuos químicos.

El requisito fundamental para que una bolsa de residuos de laboratorio funcione es que los residuos de laboratorio no deben mezclarse, por tal motivo requieren una segregación y una recolección selectiva (por separado).

### **2.11. Diagrama de Ishikawa**

El diagrama de Ishikawa, también llamado diagrama causa-efecto, es una herramienta utilizada para el análisis de problemas y sus posibles soluciones; consiste en una representación gráfica sencilla en la que puede verse de manera relacional una especie de eje central, que es una línea en el plano horizontal, representando el problema analizar, que se escribe a su derecha. Este tipo de herramientas facilita un resultado

óptimo en el entendimiento de las causas que originan un problema, con lo que puede ser posible obtener la solución del mismo.



Fuente: Méndez, 2002

Figura 2.8. Diagrama de Ishikawa o diagrama causa-efecto

Es un método sencillo donde se agrupan las causas potenciales en seis ramas principales: mediciones, maquinaria, materia prima, método, medio ambiente y mano de obra. Estos seis elementos definen de manera global todo proceso, y cada uno aporta parte de la variabilidad del mismo. (Méndez, 2002)

**Mediciones:** esta variable incluye los instrumentos, herramientas, entre otros, cuya manipulación puede influir en un determinado problema.

**Maquinaria:** se refiere a las causas provenientes del manejo de aparatos que ejercen influencia sobre el problema en estudio.

**Materia prima:** abarca las fallas ocasionadas por las condiciones y estados de los materiales a utilizar en un proceso, que pueden influir en un problema específico.

**Método:** comprende las fallas que puede presentar la metodología seguida al llevar a cabo un proceso.



**Medio ambiente:** engloba los factores ambientales que influyen directa o indirectamente en el problema estudiado.

**Mano de obra:** implica las causas originadas por el personal involucrado en un proceso y que influye en un efecto determinado.

## **2.12. Marco legal**

A continuación se presenta el marco jurídico venezolano que contiene los dispositivos legales que rigen el manejo adecuado de los residuos químicos, así como la defensa y protección del medio ambiente; siendo la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela la base principal de éste, de la cual surgen las leyes y decretos que permiten generar un marco legal ambiental sólido.

Seguidamente, se nombran las principales leyes que tienen pertinencia en el presente estudio y posteriormente los decretos.

### **2.12.1. Ley orgánica del ambiente:**

Esta ley creada con el propósito de proteger al ambiente, establece los principios generales para la conservación, defensa y mejoramiento del medio ambiente para el beneficio de la calidad de vida. Tiene por objeto establecer las disposiciones y desarrollar los principios rectores para la gestión del ambiente en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del Estado y de la sociedad, para contribuir a la seguridad del Estado y al logro del máximo bienestar de la población y al sostenimiento del planeta en interés de la humanidad.

### **2.12.2. Ley penal del ambiente:**

El objetivo principal de esta ley, es determinar que se debe considerar como delitos ambientales; generalmente definidos como acciones que violan las reglas establecidas para la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente, y establece penalidades criminales para esos delitos. La ley también crea un sistema de medidas precautelativas para la restitución y reparación, con la finalidad de minimizar el daño ambiental.



Los principales delitos contemplados son:

- Daño al suelo, vegetación y topografía del paisaje
- Descarga ilegal de aguas contaminadas
- Descargas de hidrocarburos en ambientes acuáticos
- Práctica de actividades prohibidas en áreas protegidas
- Disposición o abandono de desechos violando estándares
- Extracción ilegal de minerales no-metálicos
- Deforestación de cuencas hidrográficas utilizadas para suplir aguas

Siendo las penalidades para estos, las siguientes: prisión, arresto, multas y trabajos comunitarios.

### **2.12.3. Ley N°55: Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos**

Esta Ley tiene por objeto regular la generación, uso, recolección, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de las sustancias, materiales y desechos peligrosos, así como cualquier otra operación que los involucre, con el fin de proteger la salud y el ambiente. El manejo de materiales peligrosos recuperables tendrá como propósito fundamental su recuperación para el reuso o el reciclaje con fines industriales, comerciales, docentes o de investigación.

En cuanto a las sanciones, algunas de las contenidas en esta ley son:

**Artículo 79.** “Toda persona natural o jurídica, pública o privada que no cumpla con las disposiciones establecidas en esta Ley o en la reglamentación técnica sobre la generación, uso y manejo de sustancias, materiales y desechos peligrosos, cuyo incumplimiento no constituya delito será sancionada con multa de doscientas unidades tributarias (200 U.T.) a dos mil unidades tributarias (2.000 U.T.)”.

**Artículo 82.** Serán sancionadas con prisión de cuatro (4) a seis (6) años y multa de cuatro mil unidades tributarias (4.000 U.T.) a seis mil unidades tributarias (6.000 U.T.), las personas naturales o el representante legal o el responsable de la persona jurídica



que en contravención a las disposiciones de esta Ley y a la reglamentación técnica sobre la materia:

1. Generen, usen o manejen sustancias, materiales o desechos clasificados como peligrosos provocando riesgos a la salud y al ambiente.
2. Desechen o abandonen materiales o desechos clasificados como peligrosos, en forma tal, que por falta de controles adecuados puedan contaminar la atmósfera, las aguas superficiales o subterráneas, los suelos o el ambiente en general.
3. Otras mencionadas en la ley.

#### **2.12.4. Ley de aguas**

Establece las disposiciones que rigen la gestión integral de las aguas como elemento indispensable para la vida el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país y es de carácter estratégico e interés de Estado. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 38.595 de fecha 02 de enero de 2007. Deroga al Decreto N° 2.331 de fecha 5 de Junio de 1992 publicado en Gaceta Oficial de la República de Venezuela N°. 35.042 del 04 de Septiembre de 1992; y algunos artículos de: la Ley Forestal de Suelos y Aguas.

#### **2.12.5. Decretos/ Reglas técnicas**

El objetivo de cualquier decreto relacionado con el medio ambiente es de controlar las actividades que afecten los recursos naturales renovables y de proveer lineamientos para definir los límites de contaminación aceptable. Entre estos se encuentra:

➤ **Decreto 1.257** de fecha 13-03-96, por el cual se dictan las normas que tienen por objeto establecer los procedimientos conforme a los cuales se realiza la evaluación ambiental de actividades susceptibles de degradar el ambiente. La evaluación ambiental se cumple como parte del proceso de toma de decisiones durante la formulación de políticas, planes, programas y proyectos de desarrollo, a los fines de la incorporación de la variable ambiental en todas sus etapas.



## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

*A continuación se presenta el tipo de investigación a realizar, tanto por la estrategia metodológica seguida como por el nivel de profundidad; además del desarrollo sistemático de la investigación para dar cumplimiento a los objetivos planteados.*

#### **3.1. Tipo de investigación**

El estudio que se está realizando es, según el nivel de profundidad, del tipo exploratoria, ya que son pocos los trabajos desarrollados en los centros de educación superior del estado Carabobo. Con esta investigación se pretende plantear alternativas que permitan minimizar, recuperar, reutilizar y disponer adecuadamente los residuos líquidos generados en los laboratorios de investigación química de instituciones universitarias; dando particularmente una solución eficaz al LFQ de la facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo, además de disminuir costos y colaborando con la protección del medio ambiente. (Pérez, 2005)

La estrategia o diseño de la investigación, es un estudio de campo, ya que para llevarla a cabo se recolectarán las muestras al finalizar cada práctica, tal y como serán desechadas por los estudiantes; para realizarles posteriormente análisis fisicoquímicos, que permitirán obtener métodos que proporcionarán mejores usos y disposición de los residuos obtenidos. (Pérez, 2005)

Para el desarrollo sistemático de la investigación (DSI), se plantean las siguientes fases:

- Realización de un diagnóstico sobre el manejo actual de los reactivos utilizados en las prácticas experimentales.
- Caracterización de los residuos líquidos generados en las prácticas realizadas.
- Planteamiento de las diferentes alternativas de recuperación, reutilización e inactivación para la disposición final de los residuos líquidos.
- Evaluación experimental de las alternativas seleccionadas.



- Determinación de la relación costo-beneficio de las propuestas seleccionadas.

### **3.2. Diagnóstico del manejo actual de los reactivos utilizados en las prácticas experimentales**

Para realizar el diagnóstico del manejo actual de los reactivos utilizados en las prácticas experimentales del Laboratorio de Físicoquímica y de la manera como se llevan a cabo las mismas, se revisó el manual de prácticas y a partir de allí se elaboró un listado con los reactivos empleados en las mismas, estableciéndose además los posibles residuos que se generan.

#### **3.2.1. Etapas pertenecientes al ciclo de vida de los reactivos empleados en las prácticas del laboratorio de fisicoquímica**

Con esa lista de reactivos se elaboró una tabla en la que se planteaban las siguientes interrogantes:

- Reactivo
- Fabricante
- Distribuidor
- Usos
- ¿Lo recuperan? ¿Cómo?
- ¿Lo reutilizan? ¿Cómo?
- ¿Lo almacenan? ¿Cómo?
- Disposición final

Dicha información se recabó a través de un conjunto de entrevistas con la técnico del laboratorio, a fin de establecer las etapas del ciclo de vida que cumplen los reactivos empleados en las prácticas.

Se realizó una visita al departamento de compras de la facultad de ingeniería para obtener información sobre los distribuidores de los reactivos, ya que en el laboratorio estos datos no estaban especificados para algunos de ellos.



### 3.2.2. Elaboración de los diagramas de proceso

Partiendo del formato de un “**Diagrama de proceso**” empleado para analizar con detalle los procesos productivos a nivel industrial (ver figura en apéndice D.1), se diseñó un diagrama adaptado a las características requeridas para realizar el estudio de la metodología empleada en cada uno de los procedimientos experimentales. En este diagrama que se elaboró por cada práctica, se detallaba paso a paso la metodología para la realización de las mismas, contenía además un renglón de **análisis** de esos pasos que permitiera detectar fallas o problemas existentes, en el que se hacían las siguientes interrogantes: ¿Qué es? ¿Dónde es? ¿Cuándo? ¿Quién? ¿Cómo? y finalmente una columna para las observaciones realizadas.

Con la ayuda de los preparadores de la materia se obtuvieron las metodologías adecuadas para realizar cada práctica; posteriormente se visitaron tres (3) secciones en las que normalmente se llevan a cabo seis (6) prácticas, de las cuales sólo en cinco (5) se generan residuos líquidos, por lo tanto, se aplicó el diagrama de procesos a dos (2) desarrollos experimentales en cada sección seleccionada, exceptuando la última y mediante el método de observación directa se recabó la información necesaria para responder las interrogantes del diagrama.

Tanto la información aportada por la técnico del laboratorio como la recolectada mediante los diagramas del proceso, se utilizó para elaborar un diagrama de las etapas del ciclo de vida para cada reactivo y un diagrama de Ishikawa por práctica, mediante los cuales se establecieron las posibles causas de la generación de residuos líquidos en el LFQ y con ello realizar el diagnóstico del manejo actual de los reactivos utilizados en las prácticas experimentales (ver figuras 3.1 y 3.2).

### 3.2.3. Construcción de los diagrama de las etapas pertenecientes al ciclo de vida de los reactivos

Consistió en el análisis y organización de la información recabada en las entrevistas con la técnico, para establecer de forma secuencial las etapas de manejo de cada

reactivo actualmente en el laboratorio, siendo las variables estudiadas las que se muestran en la figura 3.1.

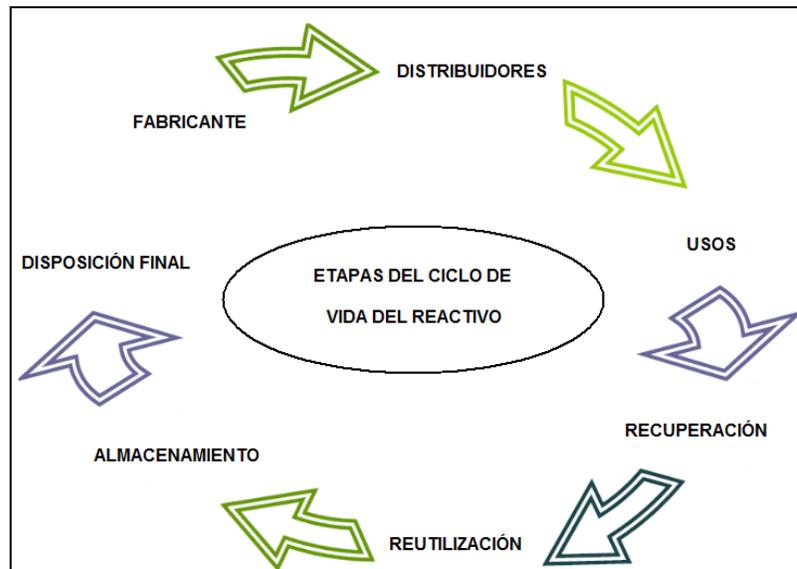


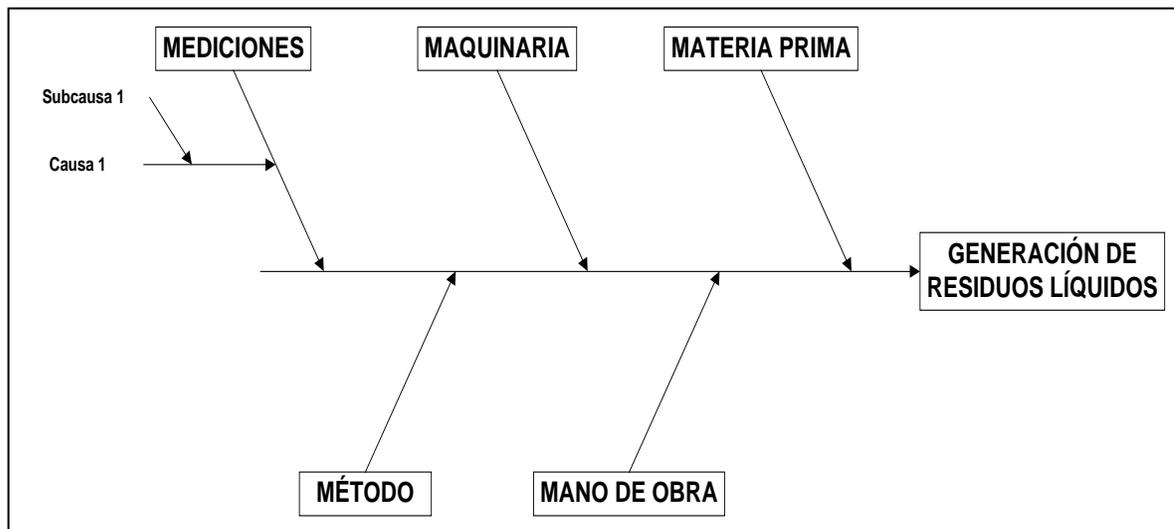
Figura 3.1. Diagrama de las etapas del ciclo de vida de los reactivos

#### 3.2.4. Diagrama de Ishikawa

El problema a analizar en el diagrama de Ishikawa fue la “**Generación de residuos líquidos**” y las variables consideradas para su construcción fueron:

- **Mediciones:** incluye los instrumentos cuyo uso puede influir en la generación de residuos, tales como: buretas, pipetas, cilindros graduados y beakers.
- **Maquinaria:** referida a los equipos utilizados en el desarrollo de las prácticas, entre los que se encuentran: la balanza digital, la estufa, campanas extractoras, planchas de calentamiento, conductímetro, calorímetro, equipo de destilación y otros.
- **Método:** incluye los procedimientos de las prácticas, tratamiento y disposición de los desechos.
- **Materia prima:** considera los reactivos empleados, suministro de agua y energía.

- **Mano de obra:** referida al adiestramiento y conocimiento de los estudiantes en cuanto a la metodología de las prácticas y manipulación de los materiales.
- **Medio ambiente:** esta variable no tiene una importancia significativa en la generación de residuos líquidos en el LFQ, por lo que no fue objeto de estudio en el análisis realizado.



Fuente: Propia

Figura 3.2. Diagrama de Ishikawa simplificado para analizar las causas de la generación de los residuos líquidos en el LFQ.

### 3.3. Caracterización de los residuos líquidos generados en las prácticas realizadas

En este apartado se muestran los pasos seguidos para definir los tipos de residuos, llevar a cabo la recolección de muestras y la aplicación de análisis fisicoquímicos a fin de conocer las características de los residuos recolectados.

#### 3.3.1. Establecimiento de los tipos de residuos generados

Se realizó una visita al laboratorio durante la ejecución de las prácticas y se verificaron los residuos del listado elaborado previamente con los generados en la realidad, descartando así los que no se producían e incorporando los que no se habían tomado en cuenta, dando un total de 25 tipos de residuos entre todas las prácticas.



Mediante la revisión bibliográfica de los fundamentos teóricos que sustentan los procedimientos fisicoquímicos que se realizan en el laboratorio, se definieron las reacciones químicas que ocurren entre los reactivos empleados en las prácticas, tal como se muestra a continuación:

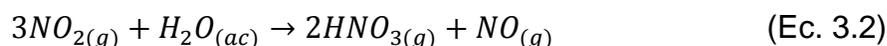
### 3.3.1.1. Práctica: Determinación del calor de combustión de una sustancia problema (Calorimetría)

#### ➤ Reactivos empleados

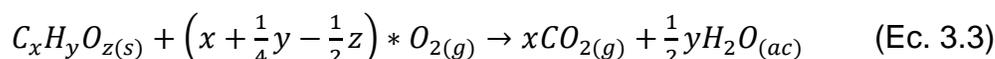
- Ácido benzoico
- Agua destilada
- Fenolftaleína
- Hidróxido de sodio 0,02 N
- Sustancia problema
- Oxígeno

#### ➤ Reacciones químicas ocurridas

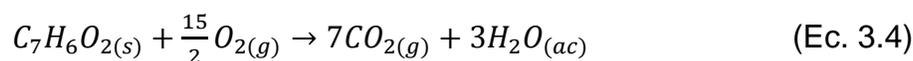
Una de las primeras reacciones que ocurre es la formación del ácido nítrico por la presencia de  $N_2$  atmosférico, que reacciona con el  $O_2$  del medio:



Si se considera la combustión de un sólido orgánico solo de tipo  $C_xH_yO_z$ , se tendrá:

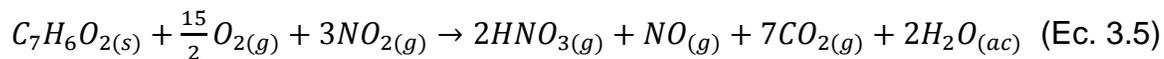


En esta práctica se trabaja con ácido benzoico y una muestra problema, por lo que se tiene:





Al realizar la suma de las ecuaciones Ec. 3.2 y Ec. 3.4 se obtiene la reacción global de este sistema:



Posteriormente, el ácido nítrico obtenido se titula con hidróxido de sodio y ocurre la siguiente reacción química:



➤ **Residuos líquidos generados**

- Ácido nítrico titulado ( $HNO_3$  titulado): proviene de la titulación del ácido nítrico formado durante la combustión del ácido benzoico y de la muestra problema empleada en esta práctica.
- Exceso de hidróxido de sodio ( $NaOH_{\text{calorimetría}}$ ): es el reactivo excedente en el beaker y en la bureta al finalizar la experiencia práctica.
- Agua resultante del enfriamiento del calorímetro.

**3.3.1.2. Práctica: Equilibrio líquido-vapor del sistema binario n-hexano-etanol (Equilibrio líquido-vapor)**

➤ **Reactivos empleados**

- N-hexano
- Etanol

➤ **Residuos líquidos generados**

- Exceso de etanol: referente al volumen de este reactivo que queda en exceso al concluir el desarrollo experimental.
- Exceso de n-hexano: cantidad excedente del reactivo al finalizar la práctica.
- Mezcla n-hexano-etanol utilizada para realizar la curva de calibración (n-hexano-etanol calibración): contiene las fracciones de estos compuestos utilizados para construir la curva de calibración del índice de refracción en función de la composición de n-hexano.



- Mezcla recuperada: incluye el volumen recuperado de la destilación realizada y la cantidad de etanol empleado para el lavado del calderín.
- Agua resultante del enfriamiento del refractómetro y la empleada en el condensador

### 3.3.1.3. Práctica: Equilibrio líquido-líquido del sistema ternario tolueno-ácido acético-agua (Equilibrio líquido-líquido)

#### ➤ Reactivos empleados

- Tolueno
- Ácido acético 99,8 % p/v
- Agua destilada
- Hidróxido de sodio acuoso 2 N
- Hidróxido de sodio alcohólico 1 N
- Fenolftaleína

#### ➤ Reacciones químicas ocurridas

Reacción de neutralización del ácido acético con NaOH:



#### ➤ Residuos líquidos generados

- Exceso de ácido acético ( $HAc_{liq-liq}$ ): volumen residual de este compuesto al finalizar la práctica.
- Exceso de tolueno: igual al  $HAc_{liq-liq}$ .
- Fases no tituladas: contiene las mezclas preparadas durante la práctica que no fueron tituladas, en las que están presentes ácido acético, agua y tolueno.
- Fases tituladas: está compuesta por ácido acético, agua, tolueno, fenolftaleína, acetato de sodio, hidróxido de sodio acuoso y alcohólico.
- Exceso de hidróxido de sodio acuoso ( $NaOH_{acuoso liq-liq}$ ): volumen restante de reactivo empleado para realizar la titulación de la fracción acuosa de la mezcla ternaria.



- Exceso de hidróxido de sodio alcohólico ( $\text{NaOH}_{\text{alcohólico liq-liq}}$ ): cantidad excedente de reactivo empleado para realizar la titulación de la fracción orgánica de la mezcla ternaria, cuya característica principal es el empleo de metanol para su preparación.

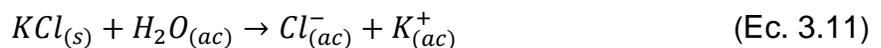
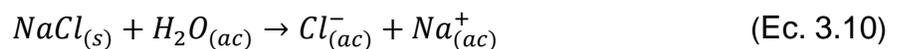
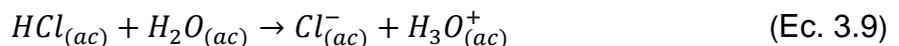
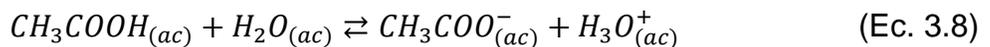
### 3.3.1.4. Práctica: Aplicación de medidas conductimétricas en la determinación de variables fisicoquímicas para diferentes electrolitos (Conductimetría)

#### ➤ Reactivos empleados

- Ácido acético 99,8 % p/v
- Ácido clorhídrico 0,01 N
- Cloruro de sodio
- Cloruro de potasio 0,01 N

#### ➤ Reacciones químicas ocurridas

Reacción de disociación de los electrolitos utilizados para la medición de conductancia a distintas concentraciones:



#### ➤ Residuos líquidos generados

- Cloruro de sodio diluido ( $\text{NaCl}$ )
- Ácido clorhídrico diluido ( $\text{HCl}_{\text{diluido}}$ )
- Ácido acético diluido ( $\text{HAc}_{\text{diluido}}$ )

El  $\text{NaCl}$ ,  $\text{HCl}_{\text{diluido}}$  y el  $\text{HAc}_{\text{diluido}}$ , provienen de la preparación de las soluciones electrolíticas a distintas concentraciones utilizadas para medirles la conductancia.



- Exceso de ácido acético ( $\text{HAc}_{\text{conductimetría}}$ ): volumen restante de reactivo empleado para preparar diluciones del electrolito débil.
- Exceso de ácido clorhídrico ( $\text{HCl}_{\text{conductimetría}}$ ): cantidad restante de este reactivo empleado para preparar las diluciones del electrolito fuerte.
- Exceso de cloruro de potasio (KCl): volumen tomado de este compuesto para realizar las mediciones de conductancia.

### 3.3.1.5. Práctica: Adsorción de ácido oxálico sobre carbón vegetal a partir de disoluciones acuosas (Adsorción)

#### ➤ Reactivos empleados

- Ácido oxálico 0,15 M
- Agua destilada
- Hidróxido de sodio 0,25 M
- Fenolftaleína
- Carbón activado

#### ➤ Reacciones químicas ocurridas

Reacción de neutralización del ácido oxálico con NaOH:



#### ➤ Residuos líquidos generados

- Exceso de ácido oxálico: excedente tomado de la solución madre de este reactivo, empleado para la estandarización de la misma y la preparación de las diluciones requeridas en la práctica.
- Ácido oxálico titulado: proveniente de la estandarización de la solución madre con hidróxido de sodio.
- Ácido oxálico filtrado: cantidad resultante de las soluciones adsorbidas y posteriormente filtradas.



- Ácido oxálico filtrado titulado: proveniente de la titulación de las soluciones filtradas después de la adsorción.
- Exceso de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}_{\text{adsorción}}$ ): volumen remanente en la bureta y en el beaker al finalizar la práctica.

### 3.3.2. Recolección de muestras

Con la cantidad de residuos ya conocido, se estableció el número de secciones en las que se efectuaría la toma de muestras y el número de semanas que se repetiría el proceso; de las secciones se tomó un 1/3 del total de secciones abiertas, y para el número de semanas el 50 % del total de las semanas durante las cuales se realizan prácticas experimentales en el laboratorio, considerando que en un semestre regular se efectúan nueve (9) prácticas por semana durante seis (6) semanas.

Con la revisión realizada al manual de prácticas también se pudo estimar el volumen aproximado a recolectar de cada residuo generado por procedimiento, y con las secciones y semanas de recolección ya establecidas, se estimó el volumen semanal y final a obtener, determinando a su vez el número de recipientes requeridos para completar todo el proceso de recolección.

Para estimar el volumen de agua que se emplea para el enfriamiento de los equipos utilizados en las prácticas de calorimetría y equilibrio líquido-vapor semestralmente, se realizó un cálculo aproximado basado en datos experimentales de caudal para cada equipo.

Mediante la revisión de las **fichas de seguridad (MSDS) de los compuestos puros**, se estableció el tipo de recipiente y las condiciones en las que debían ser almacenados los residuos al momento de hacer el muestreo, ya que algunos de ellos (fenolftaleína, tolueno, etc.) se degradan al interactuar con la luz ultravioleta, por lo que deben almacenarse en recipientes que no permitan el paso de la misma, entre otras cosas (ver tabla 3.1), debido a que era necesario preservar las muestras con las características



que poseían al momento de ser recolectadas, a fin de obtener resultados fiables al aplicar los análisis fisicoquímicos definidos para su caracterización.

En lo que se refiere a los envases utilizados durante las prácticas se consideró además, la volatilidad de los residuos y las dificultades que se le pudieran presentar a los estudiantes; una vez definidos el número, tipo de envases y su capacidad, se reunieron de manera tal que cubrieran el total de recipientes para: la recolección diaria, el almacenamiento semanal y el total.

Es importante señalar que la recolección de las muestras estuvo documentada en la **Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos (Ley N° 55) en 2001**, ya que esta tiene por objeto regular la generación, uso, recolección, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de las sustancias, materiales y desechos peligrosos, así como cualquier otra operación que los involucre, con el fin de proteger la salud y el ambiente.

### **3.3.2.1. Volumen semanal recolectado por cada residuo generado**

Fijadas las condiciones más adecuadas para la recolección y almacenamiento de los residuos, se procedió a elaborar los instrumentos correspondientes para la toma de datos; a partir de tres (3) tablas, una por cada semana de recolección, que contenían: las prácticas, los tipos de residuos generados en cada una y los volúmenes obtenidos diariamente, además de tres (3) tablas que contenían la identificación de las prácticas, residuos y la temperatura al momento de la recolección; también se registró en esta última la temperatura en el trasvase, que era la temperatura medida a los residuos al completar la recolección semanal y trasvasarlos a otro recipiente para la totalización.

Se visitaron las secciones del LFQ seleccionadas y se recolectaron los residuos generados durante las mismas; para cuantificar el volumen de los residuos se utilizaron cuatro (4) cilindros graduados de  $(1000 \pm 5)$  mL,  $(100,0 \pm 0,5)$  mL,  $(50,0 \pm 0,5)$  mL y  $(10,00 \pm 0,05)$  mL, y para medir su temperatura se emplearon dos (2) termómetros con rango de  $(150 \pm 0,5)$  °C.



Tabla 3.1. Estimación de los volúmenes a recolectar por cada residuo generado

Prácticas	Tipos de residuos	# Envases	Color del envase	Volumen aprox. por práctica (mL)	Volumen aprox. Semanal (mL)	Volumen aprox. Total (mL)
Calorimetría	HNO <sub>3</sub> titulado	6	Ámbar	100	300	900
	NaOH <sub>calorimetría</sub>		Transparente	50	150	450
Equilibrio líquido-vapor	Exceso de n-hexano	12	Ámbar	50	150	450
	Exceso de Etanol		Transparente	50	150	450
	n-hexano-etanol (calibración)		Ámbar	100	300	900
	Mezcla recuperada		Ámbar	200	600	1800
Equilibrio líquido-líquido	HAc <sub>liq-liq</sub>	18	Transparente	50	150	450
	Exceso de tolueno		Ámbar	50	150	450
	Fases no tituladas		Ámbar	200	600	1800
	Fases tituladas		Ámbar	200	600	1800
	NaOH <sub>acuoso liq-liq</sub>		Transparente	50	150	450
	NaOH <sub>alcohólico liq-liq</sub>		Transparente	50	150	450
Conductimetría	NaCl	18	Transparente	650	1950	5850
	HCl <sub>diluido</sub>		Transparente	850	2550	7650
	HAc <sub>diluido</sub>		Transparente	900	2700	8100
	HAc <sub>conductimetría</sub>		Transparente	50	150	450
	HCl <sub>conductimetría</sub>		Transparente	50	150	450
	KCl		Transparente	100	300	900
Adsorción	Exceso de ácido oxálico	15	Transparente	200	600	1800
	Ácido oxálico titulado		Ámbar	200	600	1800
	Ácido oxálico filtrado		Transparente	550	1650	4950
	Ácido oxálico filtrado titulado		Ámbar	500	1500	4500
	NaOH <sub>adsorción</sub>		Transparente	50	150	450



Después de medir la temperatura y volumen a cada muestra recolectada se realizó el trasvase a los respectivos recipientes de almacenamiento semanal.

Cabe destacar, que al finalizar cada desarrollo experimental, se realizó una consulta a los alumnos que llevaron a cabo las prácticas de calorimetría, equilibrio líquido-líquido y adsorción, a fin de conocer los volúmenes de hidróxido de sodio gastados en las titulaciones, además de poder estimar la cantidad de tolueno empleado para alcanzar el punto de turbidez en el sistema ternario agua-ácido acético-tolueno.

### 3.3.3. Caracterización de los residuos

Se realizó un estudio de cada residuo, analizando sus características y estableciendo a su vez sus posibles contaminantes.

A través de la revisión bibliográfica y de la consulta con profesores de la cátedra del laboratorio de fisicoquímica, se establecieron las propiedades más relevantes que debían ser determinadas en los residuos a fin de caracterizar cada uno de ellos.

Mediante la revisión de las metodologías de las prácticas en estudio y consulta con profesores de las cátedras de fisicoquímica y química analítica, se plantearon diversos análisis a realizar a cada residuo para determinar las características del mismo, tomando en cuenta su procedencia, composición química, entre otras.

Entre los análisis planteados se encuentran: valoraciones ácido-base, refractometría, conductimetría, pH, cromatografía de gases, espectroscopía (UV-visible), pruebas cualitativas para detectar la presencia de hidrocarburos aromáticos o Test de Rosen y pruebas cualitativas para detectar la presencia de cationes, en específico las pruebas de la llama para  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ .

Haciendo uso de dos pH-metros **Orion 720 A** ubicados en las instalaciones del laboratorio tecnológico de ambiente (LabTA) y en el LQA se midió el pH a los residuos, con el equipo perteneciente al primer laboratorio se determinó el valor para las



muestras acuosas semanalmente, mientras que para las muestras orgánicas fue determinado en el LQA al finalizar la recolección; además del pH, los análisis efectuados a los residuos por práctica fueron los siguientes:

### 3.3.3.1. Práctica de calorimetría

Al ácido nítrico titulado se le midió el pH, mientras que al  $\text{NaOH}_{\text{calorimetría}}$  además del pH se le midió la conductancia usando un conductímetro **YSI MODEL 35 CONDUCTANCE METER**, y se determinó su concentración a través de una valoración ácido-base.

### 3.3.3.2. Práctica de equilibrio líquido-vapor

A los cuatro (4) tipos de residuos generados en esta práctica (sin incluir el agua) se les aplicó refractometría para determinar su composición, lo que fue posible a través de la elaboración de una curva de calibración de índice de refracción en función de la composición molar de n-hexano, empleando para ello un refractómetro **BAUSCH & LOMB** y además, se midió su conductancia al finalizar el período de recolección.

### 3.3.3.3. Práctica de equilibrio líquido-líquido

Al exceso de tolueno se le aplicó conductimetría, refractometría y espectroscopía (UV-visible), este último realizado con un espectrofotómetro **Spectronic 20**, y así comparar los valores obtenidos con los medidos para el reactivo del laboratorio, con el fin de conocer si existe la presencia de otro compuesto por medio de alguna diferencia entre ellos; al  $\text{HAc}_{\text{liq-liq}}$  se le midió la conductancia, el índice de refracción, se valoró y se le aplicó el Test de Rosen para determinar si estaba contaminado con tolueno. Al  $\text{NaOH}_{\text{acuoso liq-liq}}$  y al  $\text{NaOH}_{\text{alcohólico liq-liq}}$  se les aplicó la técnica de conductimetría, el Test de Rosen y se titularon, a las fases no tituladas (orgánica y acuosa) y la fracción acuosa de las fases tituladas, sólo se les aplicó conductimetría y se les midió el pH, mientras que a la fracción orgánica de las fases tituladas se les realizó además, análisis de refractometría, espectroscopía y cromatografía de gases.



#### 3.3.3.4. Práctica de conductimetría

A todos los residuos provenientes de esta práctica se les midió la conductancia, pero al  $\text{HAc}_{\text{conductimetría}}$  se le midió además el índice de refracción, se valoró y se le aplicaron los ensayos a la llama para  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  a fin de determinar la presencia o ausencia de estos cationes, y así establecer si estaba contaminado con KCl o NaCl.

El  $\text{HCl}_{\text{conductimetría}}$  se valoró y se le aplicaron también las pruebas a la llama para  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ; al exceso de KCl se le aplicó la pruebas a la llama para  $\text{Na}^+$ , mientras que al NaCl diluido se le aplicó la de  $\text{K}^+$ ; a las soluciones de  $\text{HAc}_{\text{diluido}}$  y  $\text{HCl}_{\text{diluido}}$  se les realizó una titulación ácido-base y las pruebas a la llama para  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ .

#### 3.3.3.5. Práctica de adsorción

Al exceso de ácido oxálico y al ácido oxálico filtrado se les valoró mediante una titulación ácido-base; al  $\text{NaOH}_{\text{adsorción}}$ , además de la valoración se estudió por conductimetría y a los residuos titulados se les hizo la medición del pH.

En la tabla 3.2 se muestra un resumen de los residuos generados y los análisis realizados a cada uno de ellos.

Para realizar la caracterización de los residuos se presentaron algunas limitantes, entre las que destaca la disponibilidad de los equipos, ya que las mediciones de índice de refracción y conductancia debían llevarse a cabo mientras no se estuvieran desarrollando prácticas en el LFQ; además no se contaba con un pH-metro, por lo que las mediciones de esta variable debieron ser realizadas en las instalaciones del LabTA y el LQA.



Tabla 3.2. Análisis realizados a los residuos recolectados para su caracterización

Práctica	Residuo	Análisis
Calorimetría	HNO <sub>3</sub> titulado	pH
	NaOH <sub>calorimetría</sub>	pH Conductimetría Valoración ácido-base
Equilibrio líquido-vapor	Exceso de n-hexano	pH Refractometría Conductimetría
	Exceso de etanol	pH Refractometría Conductimetría
	n-hexano-etanol (calibración)	pH Refractometría Conductimetría
	Mezcla recuperada	pH Refractometría Conductimetría
Equilibrio líquido-líquido	HAc <sub>liq-liq</sub>	pH Refractometría Conductimetría Valoración ácido-base Test de Rosen
	Exceso de tolueno	pH Conductimetría Refractometría Espectroscopía UV
	Fases no tituladas (fracción orgánica)	pH Conductimetría
	Fases no tituladas (fracción acuosa)	pH Conductimetría
	Fases tituladas (fracción orgánica)	pH Conductimetría Refractometría Espectroscopía Cromatografía
	Fases tituladas (fracción acuosa)	pH Conductimetría
	NaOH <sub>acuoso liq-liq</sub>	pH Conductimetría Valoración ácido-base Test de Rosen
	NaOH <sub>alcohólico liq-liq</sub>	pH Conductimetría Valoración ácido-base Test de Rosen



**Tabla 3.2. Análisis realizados a los residuos recolectados para su caracterización (continuación)**

<b>Práctica</b>	<b>Residuo</b>	<b>Análisis</b>
Conductimetría	NaCl	pH Conductimetría Pruebas de la llama de K <sup>+</sup>
	HCl <sub>diluido</sub>	pH Conductimetría Valoración ácido-base Pruebas de la llama de Na <sup>+</sup> Pruebas de la llama de K <sup>+</sup>
	HAC <sub>diluido</sub>	pH Conductimetría Valoración ácido-base Pruebas de la llama de Na <sup>+</sup> Pruebas de la llama de K <sup>+</sup>
	HAC <sub>conductimetría</sub>	pH Refractometría Conductimetría Valoración ácido-base Pruebas de la llama de Na <sup>+</sup> Pruebas de la llama de K <sup>+</sup>
	HCl <sub>conductimetría</sub>	pH Conductimetría Valoración ácido-base Pruebas de la llama de Na <sup>+</sup> Pruebas de la llama de K <sup>+</sup>
	KCl	pH Conductimetría Pruebas de la llama de Na <sup>+</sup>
Adsorción	Exceso de ácido oxálico	pH Valoración ácido-base
	Ácido oxálico titulado	pH
	Ácido oxálico filtrado	pH Valoración ácido-base
	Ácido oxálico filtrado titulado	pH
	NaOH <sub>adsorción</sub>	pH Valoración ácido-base Conductimetría

### 3.4. Planteamiento de las diferentes alternativas de recuperación, reutilización e inactivación de los residuos

Aunque el agua utilizada para el enfriamiento de los equipos no se incluyó en la caracterización, si se tomó en cuenta para el planteamiento de alternativas, a fin generar opciones que pudieran mejorar el tratamiento dado actualmente, realizando para ello la determinación del volumen generado por práctica mediante la medición de los caudales generados en cada una de ellas y multiplicando luego por el tiempo de duración de la práctica.

Inicialmente se realizó a los residuos un estudio para establecer cuales etapas del manejo (minimización, recuperación, reutilización y disposición final) era posible aplicarles, considerando para ello: la composición relativa del residuo, el volumen recuperado de una sustancia, la disponibilidad de equipos, análisis de ciclo cerrado, cambios en la metodología, entre otros, tal como se indica en la tabla 3.3.

A los residuos tomados en exceso ( $\text{NaOH}_{\text{adsorción}}$ ,  $\text{NaOH}_{\text{calorimetría}}$ , etc.), se les planteó como primera alternativa su reutilización dentro de la misma práctica, realizando para ello un análisis de ciclo cerrado representado a través de un diagrama (ver figura 3.3); no obstante, también se realizó la revisión de la guía de prácticas del LQO y de las metodologías de las prácticas del LQA en busca de otras opciones para ellos.

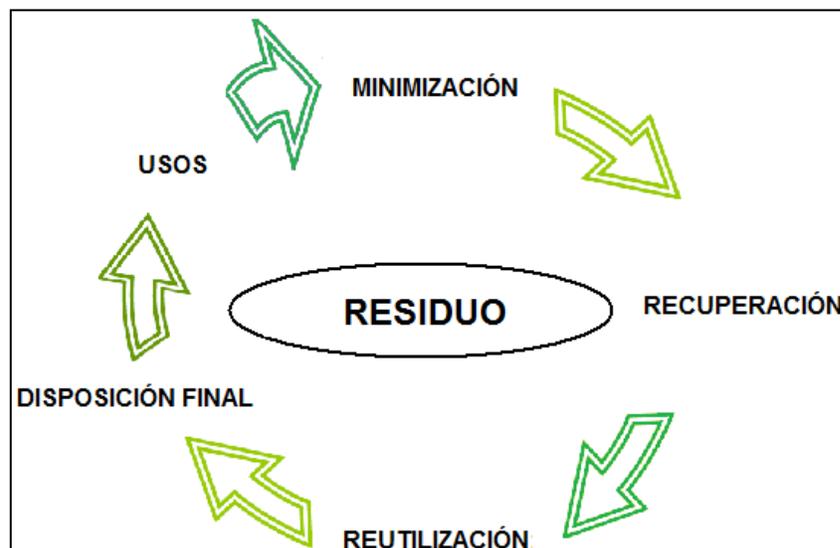


Figura 3.3. Etapas del manejo de los residuos aplicando un análisis de ciclo cerrado



Tabla 3.3. Etapas del manejo a tratar para cada residuo generado

Práctica	Tipos de residuos	Minimización	Recuperación	Reutilización	Disposición final
Calorimetría	HNO <sub>3</sub> titulado	✓			✓
	NaOH <sub>calorimetría</sub>		✓	✓	
	Agua de enfriamiento				✓
Equilibrio líquido-vapor	Exceso de n-hexano	✓	✓	✓	
	Exceso de etanol	✓	✓	✓	
	n-hexano-etanol (calibración)	✓	✓	✓	
	Mezcla recuperada		✓	✓	
	Agua de enfriamiento	✓	✓	✓	✓
Equilibrio líquido-líquido	HAc <sub>liq-liq</sub>	✓	✓	✓	
	Exceso de tolueno	✓	✓	✓	
	Fases no tituladas (fracción orgánica)	✓	✓	✓	✓
	Fases no tituladas (fracción acuosa)	✓			✓
	Fases tituladas (fracción orgánica)	✓	✓	✓	✓
	Fases tituladas (fracción acuosa)	✓			✓
	NaOH <sub>acuoso liq-liq</sub>		✓	✓	
NaOH <sub>alcohólico liq-liq</sub>		✓	✓		
Conductimetría	NaCl	✓	✓	✓	✓
	HCl <sub>diluido</sub>	✓	✓	✓	✓
	HAc <sub>diluido</sub>	✓	✓	✓	✓
	HAc <sub>conductimetría</sub>	✓			
	HCl <sub>conductimetría</sub>	✓			
	KCl	✓	✓	✓	✓
Adsorción	Exceso de ácido oxálico	✓	✓	✓	
	Ácido oxálico titulado	✓			✓
	Ácido oxálico filtrado	✓	✓	✓	✓
	Ácido oxálico filtrado titulado				✓
	NaOH <sub>adsorción</sub>		✓	✓	

Las alternativas de minimización surgieron del diagnóstico anterior, diagramas de árbol e Ishikawa, haciendo énfasis en el uso excesivo de reactivos y en las metodologías que pudieran ser modificadas.



Basados en el estudio realizado para determinar las etapas del manejo en las que se debía hacer énfasis para cada residuo, se buscaron las alternativas correspondientes, que incluían toda clase de procedimientos físicos, químicos y biológicos; esto se realizó mediante la revisión bibliográfica de la guía de prácticas del LFQ, trabajos especiales de grado, trabajos de ascenso, páginas en línea de universidades, institutos, empresas y otros, además de consultas realizadas con profesores de la cátedra del laboratorio de fisicoquímica; con esto se obtuvo una serie de propuestas, experimentales o no, que permitían minimizar, recuperar, reutilizar y disponer de manera adecuada cada residuo generado.

#### 3.4.1. Práctica de calorimetría

##### ➤ Minimización

**HNO<sub>3</sub> titulado:** aplica a partir de modificaciones en la metodología de la práctica.

**NaOH<sub>calorimetría</sub>:** no aplica.

**Agua de enfriamiento:** no aplica.

##### ➤ Recuperación

**HNO<sub>3</sub> titulado:** no aplica.

**NaOH<sub>calorimetría</sub>:** aplica luego de la recolección, almacenamiento y posterior estandarización.

**Agua de enfriamiento:** no aplica.

##### ➤ Reutilización

**HNO<sub>3</sub> titulado:** no aplica.

**NaOH<sub>calorimetría</sub>:** aplica en la práctica de calorimetría.

**Agua de enfriamiento:** no aplica

##### ➤ Disposición final

**HNO<sub>3</sub> titulado:** es posible mediante la aplicación de tratamientos como: oligomerización enzimática, biodegradación, incineración, procesos de oxidación convencionales,



tecnologías avanzadas de oxidación (TAOs): no fotoquímicas y fotoquímicas, como las mostradas en la tabla 3.4; todas para la degradación de la fenolftaleína utilizada como indicador en la titulación.

**NaOH<sub>calorimetría</sub>**: no aplica.

**Agua de enfriamiento**: aplica mediante su vertimiento en el desagüe.

**Tabla 3.4. Tecnologías avanzadas de oxidación**

Procesos no fotoquímicos	Procesos fotoquímicos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ozonización en medio alcalino (<math>O_3/OH^-</math>)</li> <li>• Ozonización con peróxido de hidrógeno (<math>O_3/H_2O_2</math>)</li> <li>• Procesos Fenton (<math>Fe^{2+}/H_2O_2</math>) y relacionados</li> <li>• Oxidación electroquímica</li> <li>• Radiólisis y y tratamiento con haces de electrones</li> <li>• Plasma no térmico</li> <li>• Descarga electrohidráulica - Ultrasonido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oxidación en agua sub/y supercrítica</li> <li>• Procesos fotoquímicos</li> <li>• Fotólisis del agua en el ultravioleta de vacío (UVV)</li> <li>• UV/peróxido de hidrógeno</li> <li>• UV/<math>O_3</math></li> <li>• Foto-Fenton y relacionadas</li> <li>• Fotocatálisis heterogénea</li> </ul>

### 3.4.2. Práctica de equilibrio líquido-vapor

#### ➤ Minimización

**Exceso de n-hexano**: se puede lograr realizando cambios en la metodología de la práctica.

**Exceso de etanol**: es posible a través de modificaciones en la metodología.

**N-hexano-etanol (calibración)**: igual que el exceso de n-hexano y etanol aplica a través de cambios en la metodología.

**Mezcla recuperada**: no aplica.

**Agua de enfriamiento**: aplica a partir de la implementación de un sistema de recirculación continuo, conjuntamente con los cambios metodológicos que ello implica.



### ➤ Recuperación

**Exceso de n-hexano:** está implícita en la minimización.

**Exceso de etanol:** está implícita en la minimización.

**N-hexano-etanol (calibración):** es posible mediante técnicas como la destilación por etapas (aplicada actualmente) u otro tipo de destilaciones como la azeotrópica, la extractiva con solventes o extractiva con sales.

**Mezcla recuperada:** luego de un tratamiento físico previo, como la separación mediante un embudo de decantación para retirar la vaselina presente, es posible su recuperación al combinarla luego con el residuo de n-hexano-etanol (calibración) y por ende con la aplicación de los mismos métodos.

**Agua de enfriamiento:** está implícita en la minimización.

### ➤ Reutilización

**Exceso de n-hexano:** es posible reutilizarlo en la práctica de equilibrio líquido-vapor.

**Exceso de etanol:** su reuso es posible en la misma práctica o colocarlo a disposición del LQO para ser empleado en las prácticas de: *identificación de compuestos orgánicos, preparación de un producto de condensación y en la de polímeros de adición y condensación.*

**N-hexano-etanol (calibración):** puede aplicar luego de la realización de la destilación por etapas para la recuperación, en la que se obtienen dos productos, n-hexano y una mezcla de composición azeotrópica; el reuso del n-hexano es posible mediante las alternativas mencionadas para el exceso de este y la mezcla restante usada como solvente en las prácticas de *equilibrio líquido-vapor y equilibrio sólido-líquido* del LFQ como se realiza actualmente.

**Mezcla recuperada:** igual que la reutilización para n-hexano-etanol (calibración).

**Agua de enfriamiento:** está implícita en la minimización.

### ➤ Disposición final

**Exceso de n-hexano:** no aplica.

**Exceso de etanol:** no aplica.

**N-hexano-etanol (calibración):** no aplica.



**Mezcla recuperada:** no aplica.

**Agua de enfriamiento:** aplica mediante su vertimiento en el desagüe.

### 3.4.3. Práctica de equilibrio líquido-líquido

#### ➤ Minimización

**HAc<sub>liq-liq</sub>:** es posible mediante cambios en la metodología, en la conciencia y preparación de los estudiantes.

**Exceso de tolueno:** igual que HAc<sub>liq-liq</sub>.

**Fases no tituladas:** aplica a partir de la creación de conciencia y preparación de los alumnos.

**Fases tituladas:** igual al residuo anterior.

**NaOH<sub>acuoso liq-liq</sub>:** no aplica.

**NaOH<sub>alcohólico liq-liq</sub>:** no aplica.

#### ➤ Recuperación

**HAc<sub>liq-liq</sub>:** aplica a partir del almacenamiento temporal del volumen que quede en exceso al finalizar la práctica.

**Exceso de tolueno:** igual que la recuperación del residuo HAc<sub>liq-liq</sub>.

**Fases no tituladas:** luego de la aplicación de un método físico como la decantación para separar las fases acuosa y orgánica, la recuperación del tolueno presente en la fracción orgánica se puede lograr mediante un *“sistema de recuperación de tolueno con recirculación”*, seguido de análisis de espectroscopía (UV-visible), refractometría y cromatografía, mientras que para la fase acuosa no aplica.

**Fases tituladas:** aplica luego de la separación de las fases acuosa y orgánica, mediante un embudo de decantación; para la fase acuosa no es viable la recuperación, pero para el tolueno presente en la fase orgánica se puede lograr a partir de la aplicación de un *sistema de recuperación de tolueno con recirculación* para eliminar las trazas de agua que puedan estar presente, aplicando luego análisis de pH, espectroscopía (UV-visible), refractometría y cromatografía.



**NaOH<sub>acuoso liq-liq</sub>**: es posible luego de la recolección, almacenamiento temporal y estandarización.

**NaOH<sub>alcohólico liq-liq</sub>**: igual que la recuperación del NaOH<sub>acuoso liq-liq</sub>.

#### ➤ **Reutilización**

**HAc<sub>liq-liq</sub>**: es posible reutilizarlo en la misma práctica.

**Exceso de tolueno**: se puede lograr a través de su reincorporación en la misma práctica.

**Fases no tituladas**: si luego de aplicar el *sistema de recuperación de tolueno con recirculación* sólo a la fracción orgánica se obtiene el tolueno sin trazas de agua, este podría ser reutilizado en la misma práctica, en caso contrario el residuo debe ser tratado y dispuesto adecuadamente.

**Fases tituladas**: para la fracción orgánica aplica su reutilización en la práctica de equilibrio líquido-líquido; para la fracción acuosa no aplica.

**NaOH<sub>acuoso liq-liq</sub>**: aplica mediante su reincorporación en la misma práctica.

**NaOH<sub>alcohólico liq-liq</sub>**: igual que la reutilización del NaOH<sub>acuoso liq-liq</sub>.

#### ➤ **Disposición final**

**HAc<sub>liq-liq</sub>**: al implementar las propuestas de minimización, recuperación y reutilización, no se generan residuos, por lo que la disposición final no aplica.

**Exceso de tolueno**: no aplica.

**Fases no tituladas**: independientemente de poder recuperar o no, el tolueno presente en la fase orgánica, este residuo debe ser inactivado mediante la aplicación de alguno de los métodos planteados para la degradación de compuestos orgánicos como: biodegradación, incineración, procesos de oxidación convencionales, TAOs; para la fase acuosa separada de la mezcla, la disposición aplica primeramente a través de una neutralización, posteriormente, para tratar las trazas de tolueno se puede aplicar algún tratamiento propuesto para la fracción orgánica.

**Fases tituladas**: aplica lo anteriormente planteado para el tolueno de la fracción orgánica de las fases no tituladas; en cuanto a la fase acuosa titulada, puede ser tratada como el ácido nítrico titulado de calorimetría.



**NaOH**<sub>acuoso liq-liq</sub>: no aplica.

**NaOH**<sub>alcohólico liq-liq</sub>: no aplica.

#### 3.4.4. Práctica de conductimetría

##### ➤ Minimización

**NaCl**, **HCl**<sub>diluido</sub> y **HAc**<sub>diluido</sub>: es posible a partir de cambios en la metodología de la práctica y creación de conciencia en los estudiantes.

**HAc**<sub>conductimetría</sub>: es viable mediante modificaciones en la metodología.

**HCl**<sub>conductimetría</sub>: igual que para el **HAc**<sub>conductimetría</sub>.

**KCl**: aplica a partir de cambios en la metodología.

##### ➤ Recuperación

**NaCl**: aplica a partir de la recolección individual de todas las soluciones de NaCl diluidas y su almacenamiento temporal.

**HCl**<sub>diluido</sub>: igual que la recuperación del NaCl; pero también aplica mediante una estandarización luego de mezclar todas las soluciones.

**HAc**<sub>diluido</sub>: igual que la recuperación del **HCl**<sub>diluido</sub>.

**HAc**<sub>conductimetría</sub>: no aplica.

**HCl**<sub>conductimetría</sub>: no aplica.

**KCl**: aplica a partir de su recolección y almacenamiento temporal.

##### ➤ Reutilización

**NaCl**: con las modificaciones a realizar a la metodología, es posible reutilizarlo en la misma práctica.

**HCl**<sub>diluido</sub>: aplica lo mismo que para el NaCl, y luego de ese uso es posible reutilizarlo nuevamente en una *práctica de titulación potenciométrica y conductimétrica combinadas* para ser llevada a cabo en el LQA o en el LFQ.

**HAc**<sub>diluido</sub>: aplica mediante las mismas alternativas planteadas para el **HCl**<sub>diluido</sub>, pero además es posible reutilizarlo en *la práctica de adsorción sobre carbón activado* como sustituto alternativo del ácido oxálico.



**HAc<sub>conductimetría</sub>**: no aplica.

**HCl<sub>conductimetría</sub>**: no aplica.

**KCl**: aplica mediante su reutilización en la misma práctica un número definido de veces.

#### ➤ **Disposición final**

**NaCl**: es posible mediante su envío por el desagüe.

**HCl<sub>diluido</sub>**: aplica luego de acordar su reuso y entrega al LQA, en el cual debe ser neutralizado y vertido al desagüe.

**HAc<sub>diluido</sub>**: igual al HCl<sub>diluido</sub>, pero además, la fracción empleada en la práctica de adsorción en el LFQ debe ser neutralizada y enviada al desagüe.

**HAc<sub>conductimetría</sub>**: no aplica.

**HCl<sub>conductimetría</sub>**: no aplica.

**KCl**: es posible mediante el vertido directo en el desagüe.

### 3.4.5. Práctica de adsorción

#### ➤ **Minimización**

**Exceso de ácido oxálico**: es posible a través de cambios en la metodología de la práctica y la concientización de los estudiantes.

**Ácido oxálico titulado**: aplica mediante cambios en la metodología.

**Ácido oxálico filtrado**: es posible a través de modificaciones metodológicas.

**Ácido oxálico filtrado titulado**: no aplica.

**NaOH<sub>adsorción</sub>**: no aplica.

#### ➤ **Recuperación**

**Exceso de ácido oxálico**: aplica a partir del almacenamiento temporal del volumen que quede en exceso al finalizar la práctica.

**Ácido oxálico titulado**: no aplica.

**Ácido oxálico filtrado**: es posible a partir de la evaporación de una cantidad determinada de agua para concentrar la solución, seguido de una estandarización.

**Ácido oxálico filtrado titulado**: no aplica.



**NaOH<sub>adsorción</sub>**: es posible lograrlo a través de la recolección y determinación de la concentración mediante una titulación ácido-base al finalizar el semestre.

➤ **Reutilización**

**Exceso de ácido oxálico**: aplica a través de la reutilización en la misma práctica.

**Ácido oxálico titulado**: no aplica.

**Ácido oxálico filtrado**: si es posible concentrar la solución mediante la evaporación, puede ser reutilizado en la misma práctica.

**Ácido oxálico filtrado titulado**: no aplica.

**NaOH<sub>adsorción</sub>**: aplica en la misma práctica.

➤ **Disposición final**

**Exceso de ácido oxálico**: no aplica.

**Ácido oxálico titulado**: es posible mediante la aplicación de tratamientos como: biodegradación, incineración, procesos de oxidación convencionales, tecnologías avanzadas de oxidación como la fotocatalisis heterogénea y foto Fenton, entre otras; todas ellas para la degradación de la fenolftaleína utilizada como indicador en la titulación.

**Ácido oxálico filtrado**: aplica mediante la neutralización y posterior vertimiento al desagüe.

**Ácido oxálico filtrado titulado**: igual que el ácido oxálico titulado.

**NaOH<sub>adsorción</sub>**: no aplica.

### 3.4.6. Selección de las alternativas en casos de múltiples opciones

En los casos en los que se tenían múltiples alternativas para una misma etapa de manejo se realizó un proceso de selección haciendo uso del **método cualitativo de los factores determinantes** cuyo instrumento es la *matriz de ponderación por puntos*. (López, 2007)

Este método permite incorporar en el análisis toda clase de consideraciones, sean éstas de carácter cuantitativo o cualitativo.



El procedimiento seguido para elaborar las matrices fue el siguiente:

1. Se identificaron los factores más relevantes a tener en cuenta en cada decisión.
2. Se estableció el peso entre ellos en función de su importancia relativa, cuya escala iba de cero (0) a uno (1).
3. Se puntuó cada alternativa para cada uno de los factores a partir de una escala cuyos límites inferior y superior eran 0 y 10, respectivamente.
4. Se obtuvo una calificación total para cada alternativa, teniendo en cuenta la puntuación de la misma en cada factor y el peso relativo del mismo.
5. En cada caso se seleccionó la alternativa que obtuvo la mayor puntuación.

Tanto los casos en los que fue necesario aplicar este método, como los factores utilizados para cada matriz se muestran a continuación:

- Disposición adecuada de la fenoltaleína presente en el ácido nítrico titulado: condiciones de operación, formación de subproductos, costos, disponibilidad de instalaciones y equipos.
- Reutilización del exceso de etanol: almacenamiento temporal, caracterización, traslado y tiempo invertido.
- Disposición adecuada de la fracción orgánica de las fases no tituladas: condiciones de operación, formación de subproductos, costos, compuestos tratados, disponibilidad de instalaciones y equipos.

### **3.5. Evaluación experimental de las alternativas seleccionadas**

Para las alternativas que se evaluaron de forma experimental, se siguió la metodología mostrada a continuación:

#### **3.5.1. Práctica de calorimetría**

Esta alternativa resultó de la selección entre las opciones propuestas para la disposición final del  $\text{HNO}_3$  titulado, siendo estas: incineración, biodegradación, procesos de oxidación convencionales, TAO's (Fotocatálisis Heterogénea).

### 3.5.1.1. Fotocatálisis heterogénea para la degradación de fenolftaleína

Se revisó cuidadosamente la bibliografía obtenida para conocer el procedimiento de oxidación fotocatalítica de forma detallada y así establecer las condiciones más adecuadas para llevar a cabo el montaje experimental.

Cabe destacar que este estudio se realizó de forma general, para incluir en el análisis de los resultados todos los residuos que contienen fenolftaleína en su composición; para determinar la concentración de la solución a preparar se realizó la comparación entre todos los residuos provenientes de titulaciones ácido-base y se estimó cuál de ellos tenía la concentración más alta de dicho contaminante.

Para llevar a cabo esta investigación se elaboró un reactor tubular de 1,08 m de longitud y 3,5 cm de diámetro y una lámpara UV de luz negra de longitud de onda 368 nm dispuesta en su interior, para obtener un volumen útil del reactor de 550 cm<sup>3</sup> aproximadamente, dispuesto sobre un soporte de madera, acoplado en los extremos con dos tapones de plástico y un orificio en cada extremo para la entrada y salida de la solución a tratar. Para la recirculación de la mezcla se contó con una bomba empleada usualmente para el bombeo de gasolina de los automóviles, una resistencia y un tanque de agitación (ver figura 3.4).



Figura 3.4. Montaje experimental del sistema fotocatalítico utilizando lámpara UV con una longitud de onda de 368 nm.



El seguimiento de la degradación del colorante se llevó a cabo por medio de espectrofotometría, realizando por este mismo método una curva de calibración en función de la concentración de fenolftaleína y la mineralización se estimó por medio de la determinación de la DQO.

La solución de fenolftaleína se preparó con agua destilada, a una concentración de 150 ppm y un pH de 9 unidades, agregándose 100 ppm de peróxido de hidrógeno y 200 ppm de dióxido de titanio en su forma anatasa. Se tomó cada veinte (20) minutos alícuotas de 10 mL de solución, las cuales fueron centrifugadas durante otros 20 minutos; se realizaron a todas las muestras pruebas de UV-Visible mediante el espectrofotómetro Spectronic 20 y a las muestras inicial y final análisis de DQO. El tratamiento se realizó por espacio de 120 minutos.

### **3.5.2. Práctica de equilibrio líquido-líquido**

A continuación se detallan las propuestas llevadas a cabo para tratar los residuos provenientes de esta práctica.

#### **3.5.2.1. Sistema de recuperación de tolueno con recirculación**

Mediante la revisión bibliográfica se obtuvieron las propiedades fisicoquímicas de los componentes presentes en la mezcla a tratar, a fin de establecer las condiciones de operación y metodología correcta para lograr la separación de los mismos.

Se montó el sistema utilizando un balón de dos bocas de 1000 mL, una pieza en forma de “h” con un sistema de retorno incorporado elaborado con tubo de PVC y unido a éste un bulbo que hacía las veces de embudo de decantación, también se empleó un condensador de doble tubo, un termómetro y una plancha de calentamiento (ver figura 3.5).



Figura 3.5. Montaje experimental del sistema de recuperación de tolueno con recirculación.

El proceso se aplicó a la fracción orgánica de las fases no tituladas de la cual se introdujeron 120 mL en el balón; se obtuvo primeramente una mezcla que no logra separarse en el embudo y luego una mezcla compuesta mayormente por tolueno, quedando en el balón la mayor parte del ácido acético.

Finalizado el proceso se cuantificaron los volúmenes de los productos obtenidos, se realizó la medición de índice de refracción, pH y se aplicó espectroscopía y cromatografía al tolueno recuperado.

### 3.5.2.2. Fotocatálisis heterogénea para la degradación del tolueno

El sistema utilizado para este caso fue un fotoreactor tipo batch, constituido por un envase de vidrio de 600 mL de capacidad, el cual fue colocado sobre una superficie reflectante para lograr captar la mayor luz solar posible.

Se introdujeron 300 mL de tolueno con 1000 ppm de peróxido de hidrógeno y 2000 ppm de dióxido de titanio. Inicialmente, se tomó una muestra a la que se le aplicó espectroscopía y se le midió el índice de refracción. El sistema se dejó reaccionando

durante 7 días, se tomó una alícuota de 10 mL y se le aplicaron los análisis anteriormente mencionados.

### 3.5.3. Práctica de conductimetría

El residuo de  $\text{HAc}_{\text{diluido}}$  proveniente de conductimetría, puede ser utilizado como sustituyente del ácido oxálico en la práctica de adsorción, para lo cual se empleó la metodología desarrollada a continuación.

#### 3.5.3.1. Adsorción de ácido acético sobre carbón activado

Inicialmente, se revisó la metodología de la práctica de adsorción, de la cual se tomaron los pasos a seguir para llevar a cabo esta investigación. De estudios realizados anteriormente en el LFQ se obtuvieron las concentraciones de las mezclas con las que debía iniciarse el desarrollo experimental, por lo que el ácido acético diluido generado en la práctica de conductimetría se diluyó aún más para ajustarlo a las condiciones requeridas.

El montaje experimental era semejante al de la práctica de adsorción, el cual consistía de tres fiolas de 250 mL, que contenían 100 mL de las soluciones con concentraciones de  $(0,0091 \pm 0,0001)$  M,  $(0,0013 \pm 0,0001)$  M y  $(0,0007 \pm 0,0001)$  M, con 2 g de carbón activado cada una y tres planchas de agitación magnética; el sistema se montó durante 45 minutos.



Figura 3.6. Montaje experimental utilizado para la adsorción de ácido acético sobre carbón activado.



Finalizada la agitación se desmontaron los sistemas y se filtraron las soluciones; se tomaron 3 alícuotas de 10 mL de cada una de las soluciones, las dos de mayor concentración inicial se titularon con NaOH 0,0225 N y la tercera con NaOH 0,000225 N.

### 3.5.3.2. Titulación conductimétrica y potenciométrica combinadas

Inicialmente se ajustaron las condiciones del ácido acético diluido proveniente directamente de la práctica, realizando para ello una dilución hasta obtener una concentración de 0,0008 mol/L.

Para llevar a cabo el desarrollo experimental se emplearon tres (3) soluciones, la primera y la segunda de ácido acético y clorhídrico diluidos, a las cuales se les aplicó, de forma individual, una titulación potenciométrica; la tercera resulta de las mezclas de los ácidos diluidos y se utilizó para realizar la titulación potenciométrica y conductimétrica combinadas.

- **Solución de ácido acético combinado con ácido clorhídrico**

La mezcla de los ácidos fue preparada con la adición de 100 mL de ácido clorhídrico (0,0008  $\pm$  0,0001) N proveniente directamente de los residuos y 100 mL de ácido acético de la misma concentración preparada anteriormente.

- **Titulación potenciométrica de ácido acético y clorhídrico**

Para realizar las titulaciones potenciométricas de los ácidos individualmente, se toman alícuotas de 50 mL de las soluciones de ácido acético y clorhídrico diluidos.

Se utilizó como recipiente para la realización de las titulaciones conductimétricas un beaker de 250 mL inmerso en otro de 600 mL, con un contenido de 200 mL de agua aproximadamente. El objetivo de este procedimiento era reducir al mínimo el calentamiento de la solución de medida, debido al calentamiento inducido por el agitador magnético.

Se introdujo inicialmente en el beaker de 250 mL, 50 mL de la solución de HCl ( $0,0008 \pm 0,0001$ ) N, el electrodo de vidrio y se tituló la muestra con solución de NaOH 0,102 mol/L mediante la adición de incrementos idénticos de 0,2 mL del titulante, repitiendo el mismo procedimiento para la solución de ácido acético.

- **Titulación potenciométrica y conductimétrica combinadas**

Se agregó 200 mL en el beaker de 250 mL, de la solución de ácido acético y clorhídrico, la celda conductimétrica y el electrodo de vidrio; la titulación se realizó con NaOH 0,102 mol/L con la adición de incrementos de 0,2 mL del titulante. La Figura 3.7 muestra el esquema del montaje.



Figura 3.7. Esquema del montaje empleado para realizar la titulación potenciométrica y conductimétricas combinadas.

### 3.5.4. Práctica de adsorción

Se muestra la metodología seguida para aumentar la concentración del ácido oxálico diluido proveniente de la práctica de adsorción

#### 3.5.4.1. Evaporación de agua para concentrar el ácido oxálico diluido

Partiendo de los valores de concentración obtenidos en la caracterización, se calculó la masa de ácido oxálico contenida en 300 mL de residuo (este el volumen aproximado que se recolecta por práctica) y se comparó con la masa necesaria para preparar ese



mismo volumen de una solución 0,15 M (concentración aproximada de la solución empleada en la práctica). El montaje utilizado consistió de un beaker de 600 mL, una plancha de calentamiento con agitación magnética y una bureta de 50 mL.

Se introdujeron 500 mL de una solución de ácido oxálico ( $0,0009 \pm 0,0001$ ) N que se dejó evaporar hasta que quedó aproximadamente un volumen de 250 mL; se tomaron 3 alícuotas de 30 mL cada una, se transfirieron a 3 fioles de 50 mL, se dejaron enfriar y posteriormente se titularon con NaOH 0,25 N.

### **3.6. Determinación de la relación costo-beneficio de las propuestas seleccionadas**

Inicialmente se enlistaron por cada propuesta los reactivos, material de vidrio y equipos necesarios para llevar a cabo cada una de ellas, posteriormente se excluyeron los materiales y equipos que poseen el LFQ y el LQA, y mediante indagaciones en ferreterías, casas eléctricas, farmacias, distribuidoras de productos químicos, laboratorios de análisis químicos, entre otros, se conocieron los costos de los artículos previamente enlistados, para calcular con ello el valor de los activos fijos (tangibles e intangibles) y el capital fijo de las alternativas propuestas.

Se plantearon los ahorros a obtener luego de la implementación de las alternativas propuestas, los cuales incluían: ahorro generado por el volumen de agua y reactivos minimizados y las posibles multas que pueden ser aplicadas a la institución, para determinar así la relación costo-beneficio de las alternativas planteadas.



## CAPÍTULO IV

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

*En este capítulo se presentan las discusiones de los resultados obtenidos al llevar a cabo cada objetivo planteado en esta investigación, los cuales incluyen los tratamientos dados a los reactivos empleados en las prácticas actualmente, la caracterización de los residuos generados en las mismas y el planteamiento de las distintas propuestas para mejorar las etapas de manejo de los residuos en el laboratorio.*

#### **4.1. Diagnóstico del manejo actual de los reactivos utilizados en las prácticas experimentales**

Con la elaboración de los diagramas para el estudio de las etapas del ciclo de vida de los reactivos empleados en las prácticas realizadas en el LFQ, se da a conocer que el manejo de estas etapas es inadecuado para la mayoría de los reactivos, según la **Ley penal del ambiente**, la **Ley orgánica del ambiente**, la **Ley aguas**, la **Ley N°55: Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos** y las **Normas sobre evaluación ambiental de actividades susceptibles de degradar el ambiente** (Decreto N° 1.257), ya que los residuos no se recuperan, reutilizan, ni disponen de forma apropiada, siendo algunos de los casos más notables los de: tolueno, fenolftaleína, ácido clorhídrico, cloruro de potasio, etc.

##### **4.1.1. Etapas pertenecientes al ciclo de vida que cumplen los reactivos empleados en las prácticas**

En los diagramas de las etapas pertenecientes al ciclo de vida que cumplen los reactivos que se utilizan en las distintas prácticas desarrolladas en el LFQ está contenida la información sobre el manejo actual dado a estos.

##### **➤ Hidróxido de sodio**

En la figura 4.1 para el hidróxido de sodio empleado en las prácticas de calorimetría, equilibrio líquido-líquido y adsorción, se observa que sólo el proveniente de líquido-líquido es recuperado y posteriormente neutralizado con el  $\text{HAc}_{\text{liq-liq}}$  al tener una

cantidad similar y un volumen considerable de ambos, para luego ser enviadas al desagüe; el resultado de la neutralización al convertirse en una sustancia menos peligrosa, disminuye el problema ocasionado al medio ambiente; pero el hidróxido utilizado en las otras prácticas, se vierte directamente en los desagües sin recibir un tratamiento previo.

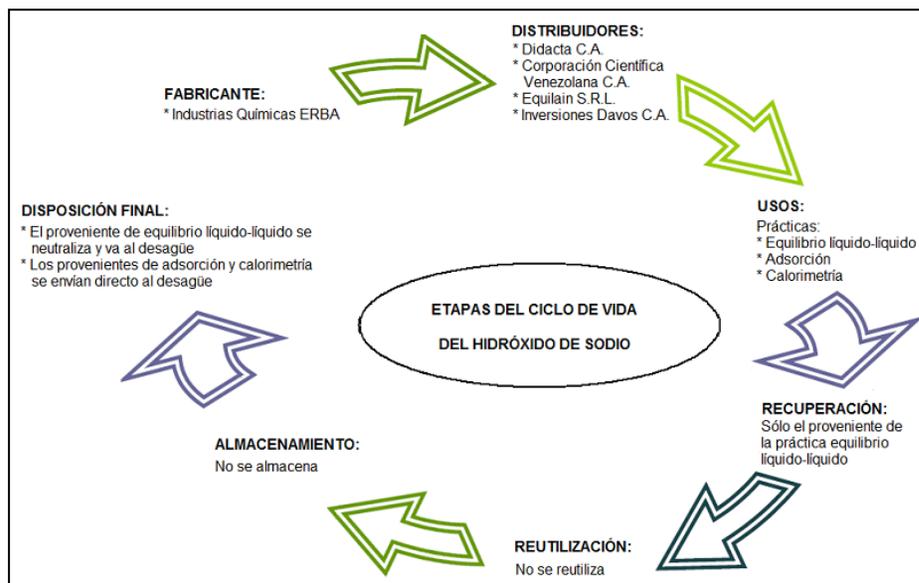


Figura 4.1. Etapas del ciclo de vida del hidróxido de sodio empleado en el LFQ

Cabe destacar, que aunque al hidróxido de líquido-líquido y el  $\text{HAc}_{\text{liq-liq}}$  se les está dando una adecuada disposición final, esta puede mejorarse en cuanto a la recuperación y reutilización, para evitar gastos excesivos de los reactivos y ahorrar costos al laboratorio.

### ➤ **Ácido acético**

El ácido acético es empleado además, en la práctica de conductimetría, durante la cual es diluido y al finalizar la misma este es enviado al desagüe sin el manejo apropiado, como se muestra en la figura 4.2.

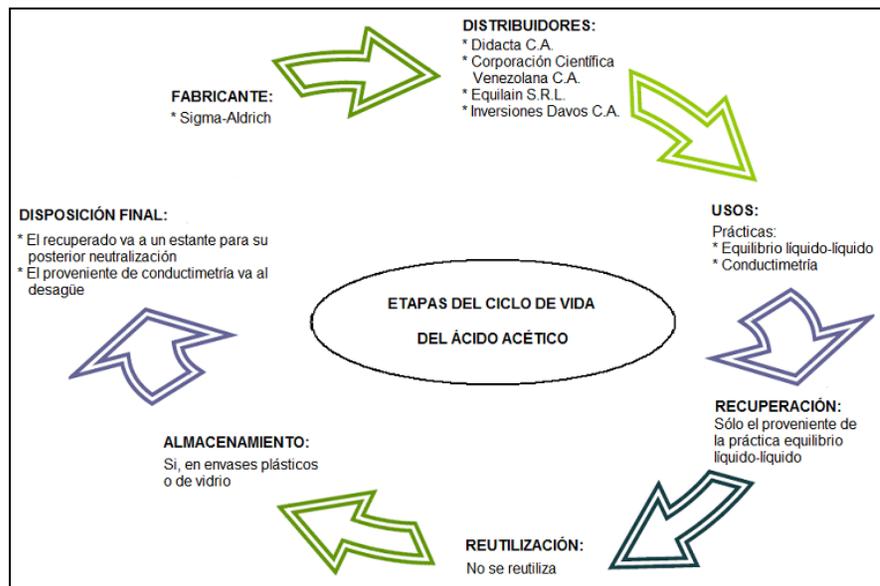


Figura 4.2. Etapas del ciclo de vida del ácido acético empleado en el LFO

### ➤ Tolueno

En lo que respecta al tolueno usado en la práctica de equilibrio líquido-líquido, se sabe que esta es una sustancia orgánica con alto grado de toxicidad que debe ser manejada de forma apropiada para evitar el contacto con el ambiente y los seres vivos, por ser un compuesto aromático, de efecto acumulativo en el organismo y que produce entre otras cosas daños al hígado, riñones y sangre, de acuerdo con la empresa Winkler Ltda. (Winkler, s.f.).

Este residuo es tratado de forma inadecuada durante las etapas que cumple en el LFO, debido a que el exceso tomado por los alumnos y que no es empleado durante la práctica, es recolectado, luego almacenado en envases ámbar y colocados en un estante sin ningún uso, ni a largo, ni a corto plazo (ver figura 4.3); generando un problema de acumulación de residuos dentro del laboratorio, es decir, ocupando espacios que pueden ser aprovechados por otros reactivos y eventualmente equipos o sencillamente para realización de otras actividades docentes o de investigación.



Figura 4.3. Almacenamiento inadecuado de los residuos dentro del LFQ.

El tolueno utilizado en la práctica de equilibrio líquido-líquido es recuperado por medio de la separación de las fases acuosas y orgánicas, teniendo esta última fase la misma disposición que el tolueno tomado en exceso, es decir, es almacenada en un estante de forma indefinida, tal como se observa en la figura 4.4; por su parte las fases acuosas (tituladas y no tituladas) son enviadas al desagüe con trazas de este compuesto sin ser tratadas previamente, conteniendo además, las fases no tituladas una gran cantidad de ácido acético, y las tituladas fenoltaleína, metanol utilizado en la preparación del hidróxido de sodio alcohólico y acetato de sodio proveniente de la neutralización ácido-base.

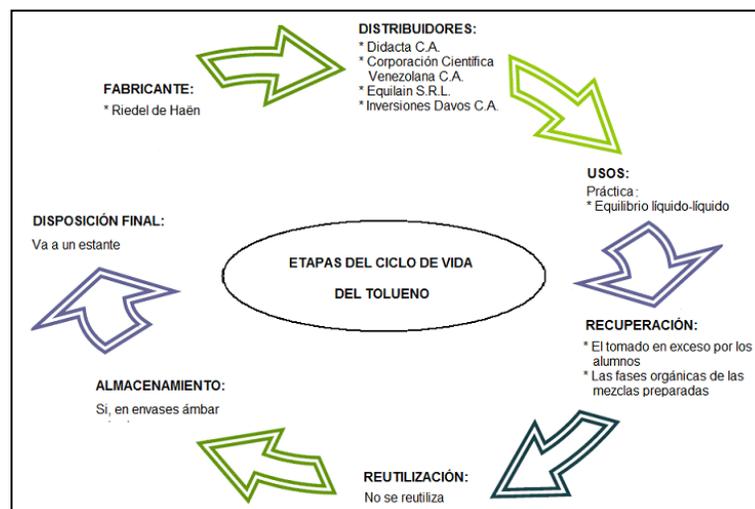


Figura 4.4 Etapas del ciclo de vida del tolueno empleado en el LFQ

### ➤ Cloruro de sodio y potasio

El cloruro de potasio y el cloruro de sodio utilizados en la práctica de conductimetría, no son recuperados ni reutilizados, y tienen como disposición final el desagüe (ver figura 4.5 y 4.6), sin aplicarles los estudios correspondientes para determinar las concentraciones con las que son desechados actualmente; aún, cuando el cloruro de sodio no supone riesgo ambiental cuando está presente en el agua, por lo que se le atribuye el tipo nivel 1, según Water Treatment Solutions Lenntech (Lenntech, 2009), para ser vertido al desagüe debe cumplir una relación mínima de 1:20, según la MSDS de la empresa **Winkler Ltda.**

El valor de la concentración letal 50 ( $LC_{50}$ ), para los peces es de 157 mg/L, siendo esta la concentración de una sustancia a la que puede esperarse que produzca la muerte del 50% de los animales expuestos a dicha sustancia durante un periodo determinado, se expresa en peso de sustancia por unidad de volumen de aire normal (miligramos por litro, mg/L). (Lenntech, 2009)

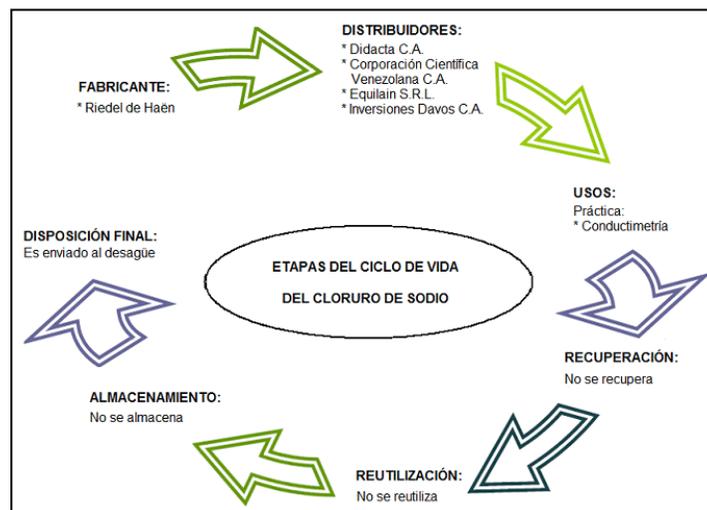


Figura 4.5 Etapas del ciclo de vida del cloruro de sodio empleado en el LFQ

Los residuos del cloruro de potasio, en general, se pueden eliminar a través del desagüe o en un vertedero autorizado, una vez que se acondicione de forma tal de ser inoocuos para el medio ambiente, es decir, que cumplan con la relación 1:20, como lo indica la MSDS de la empresa **Winkler Ltda.**; sin embargo, esta condición no es

verificada por el LFQ, ya que estos residuos son enviados al desagüe sin saber la concentración final con la que son desechados.

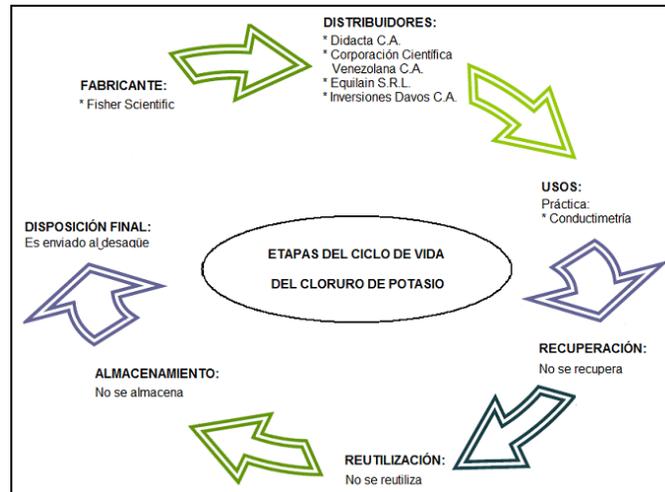


Figura 4.6. Etapas del ciclo de vida del cloruro de potasio empleado en el LFQ

### ➤ **Ácido clorhídrico**

El ácido clorhídrico luego de ser usado en la práctica, no se le aplican las etapas de recuperación, ni reutilización y es enviado directamente al desagüe, sin ser neutralizado (ver figura 4.7); lo que es inadecuado porque el ácido clorhídrico se encuentra muy disociado y reacciona de forma rápida con sales presentes sobre todo en aguas residuales, produciendo exceso de cloruros en medios acuosos, de acuerdo con la empresa Mexichem (Mexichem, 2010).

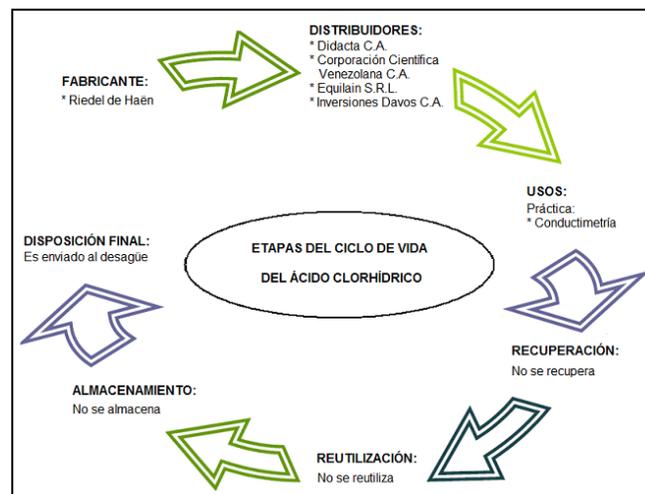


Figura 4.7. Etapas del ciclo de vida del ácido clorhídrico empleado en el LFQ

### ➤ Ácido oxálico

Los usos dados al ácido oxálico dentro del laboratorio son: la práctica de adsorción y la estandarización de soluciones, y al igual que ácido clorhídrico es enviado por el desagüe sin recibir el manejo adecuado (ver figura 4.8), ya que aún cuando se encuentra diluido al finalizar el desarrollo experimental, no se determina su pH o algún otro parámetro que indique las características de cómo está siendo desechado.

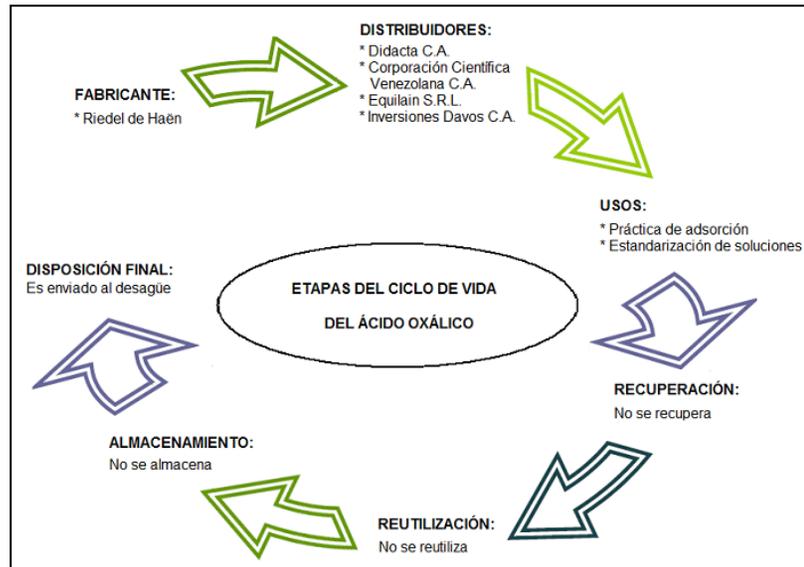


Figura 4.8. Etapas del ciclo de vida del ácido oxálico empleado en el LFQ

### ➤ Fenolftaleína

La fenolftaleína es una sustancia tóxica, que puede ocasionar daños en los riñones, uréter y vejiga por su ingesta, además de actuar como laxante en las personas según la información obtenida de la hoja de seguridad de la empresa **Winkler Ltda.**; actúa como laxante en las personas e induce en ratones machos y hembras hiperplasia atípica (afección no cancerosa en la que las células parecen anormales y más numerosas bajo el microscopio), proliferación de células hematopoiéticas (aquellas que producen la sangre y las células del sistema inmunodeficiente) en el bazo, y en los ratones machos toxicidad del riñón y sistema reproductor (Mera, s.f.), y a pesar de ello es vertido a los fregaderos del LFQ sin previo tratamiento luego de su empleo como indicador en las titulaciones ácido-base. En la figura 4.9, se muestra el uso y el tratamiento dado a la fenolftaleína dentro del LFQ.

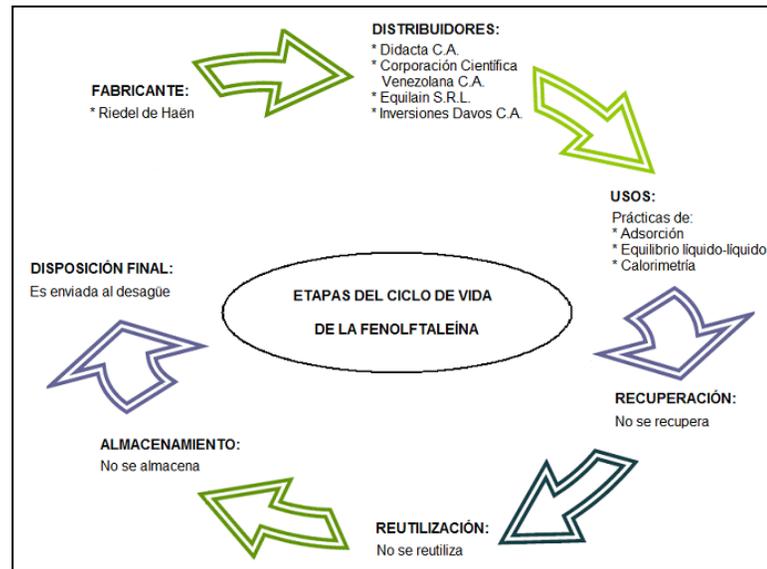


Figura 4.9. Etapas del ciclo de vida de la fenolftaleína empleada en el LFQ

### ➤ N-hexano y etanol

Por su parte, el n-hexano y el etanol son los reactivos que mejor tratamiento reciben a lo largo de las etapas que cumplen dentro del laboratorio, ya que una vez que son utilizados en la práctica de equilibrio líquido-vapor, se recuperan de forma individual tres residuos: n-hexano, etanol y una mezcla de ambos; los dos primeros son actualmente almacenados en envases de vidrio, traslúcido para el etanol y ámbar para el n-hexano, mientras que la mezcla es recuperada mediante una destilación por etapas, de la que se obtienen n-hexano con un alto grado de pureza y una mezcla de composición azeotrópica. Las etapas pertenecientes al ciclo de vida del n-hexano en el LFQ se pueden observar en la figura 4.10.

Los compuestos recuperados puros, son reutilizados como reactivos en la misma práctica; mientras que la mezcla de composición azeotrópica es reutilizada como solvente para la limpieza del refractómetro empleado en la misma práctica y en la práctica de equilibrio sólido-líquido; por lo que no es desechado. En la figura 4.11 se muestra manejo dado al etanol.

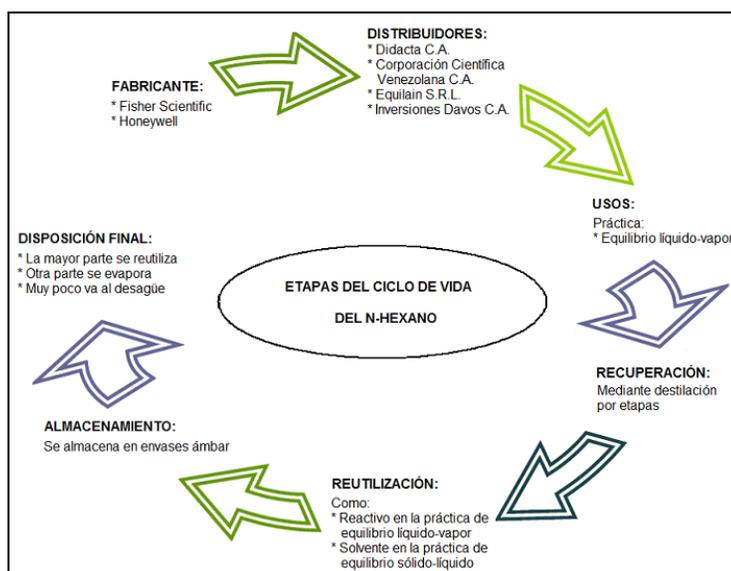


Figura 4.10. Etapas del ciclo de vida del n-hexano empleado en el LFQ

Es importante destacar que son muy pocos los reactivos cuyas etapas del ciclo de vida dentro del LFQ son llevadas a cabo de manera adecuada.

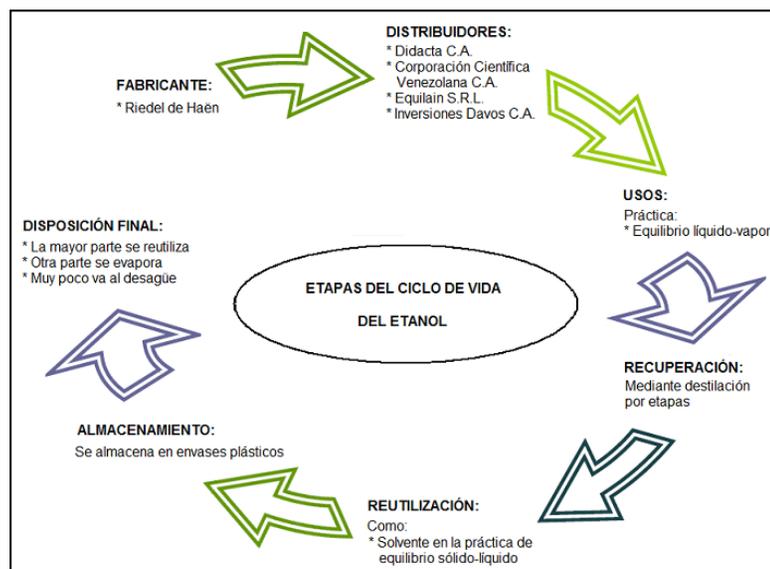


Figura 4.11. Etapas del ciclo de vida del etanol empleado en el LFQ



#### 4.1.2. Diagramas de Ishikawa para establecer las causas de la generación de residuos químicos en el LFQ

El problema de “**generación de residuos líquidos**”, se analiza para cada una de las prácticas a través de diagramas de Ishikawa, mediante los cuales se pueden señalar las causas que alimentan el crecimiento de residuos líquidos en el laboratorio; seguidamente se detallan las variables que conforman el estudio realizado:

Entre los factores considerados se encuentra la variable **mediciones**, la cual es una de las causas de la generación de residuos en todas las prácticas es debida al uso de los instrumentos de vidrio utilizados para la medición de volúmenes; seguidamente, se analiza el factor **maquinaria**, que se refiere en su mayor parte al estado y/o condiciones en que se encuentran los aparatos empleados a lo largo de cada una de las prácticas experimentales; por otro lado, se considera la variable **método**, que incluye las fallas en las metodologías y etapas necesarias del desarrollo experimental; en cuanto a **materia prima**, se incluye el suministro de energía, agua y los reactivos y finalmente, se tiene la **mano de obra**, en este ítem se encuentra la mayor cantidad de causas y sub-causas que influyen directamente en el problema estudiado, entre estas se encuentran: conocimiento de la metodología, uso de equipos, uso del material de vidrio y el uso excesivo de reactivos.

A continuación se expone la influencia de estas variables en cada una de las prácticas:

##### 4.1.2.1. Práctica de calorimetría

###### ➤ Mediciones

- **Bureta:** tienen la desventaja que el volumen que permanece en la punta de ellas no es utilizado y es por ende desechado; además, se debe tener en cuenta que generalmente se emplea una cantidad mayor que la necesaria para realizar las titulaciones, por lo que el excedente es descartado.



➤ **Método**

- **Metodología de la práctica:** el volumen de agua para lavado de la bomba calorimétrica, no está claramente establecido debido a que no es necesario para realizar los cálculos posteriores, sin embargo, esto ocasiona que algunos estudiantes tomen mayor o menor volumen de acuerdo a su criterio variando la cantidad de residuos generados, que son enviados al desagüe conteniendo fenolftaleína en su composición y aumentando la concentración de fenoles en las aguas servidas.
- **Tratamientos de los residuos:** los residuos generados en esta práctica no reciben ningún tipo de tratamiento.
- **Curado del material de vidrio:** luego de realizar el curado de la bureta se desecha la alícuota utilizada para ello.
- **Disposición de los residuos:** luego de ser generados, estos son enviados al desagüe.

➤ **Mano de obra. Adiestramiento.**

- **Conocimiento de la metodología:** los estudiantes, por desconocimiento de esta elaboran la pastilla más de dos (2) veces con un mismo reactivo, realizan el lavado de la bomba calorimétrica y llevan a cabo la titulación con la sustancia equivocada y al percatarse del error, desarrollan nuevamente el procedimiento con el reactivo correcto, lo que trae como consecuencia una mayor cantidad de residuos líquidos.
- **Uso de equipos:** los alumnos por no saber el correcto funcionamiento del calorímetro, deben repetir la ejecución de la práctica, gastando reactivo en la construcción de la pastilla, los alambres de contacto, oxígeno, agua destilada y de grifo.
- **Uso del material de vidrio:** al finalizar una titulación, los alumnos proceden a enrasar la bureta a cero nuevamente, en lugar de tomar el volumen restante como volumen de referencia para las siguientes valoraciones.
- **Técnica aplicada:** al llegar al momento en el que deben colocar el alambre, tienen dificultad para ello y no logran que esté en contacto con la pastilla, además, una vez



colocado generan mucho movimiento separando la pastilla del alambre, por lo que al terminar el proceso combustión no se ha realizado.

- **Uso excesivo de reactivos:** el hidróxido de sodio usado para la titulación del ácido recolectado, es tomado en gran proporción, sin tener un criterio o la conciencia necesaria para no perder dicho reactivo; además, el lavado de la bomba calorimétrica con excesiva agua destilada, ayuda a la generación innecesaria de residuo.

Las variables estudiadas que afectan de alguna forma la generación de residuos líquidos provenientes de la práctica de calorimetría, se exponen en la figura 4.12 a través de un diagrama de Ishikawa simplificado.

#### 4.1.2.2. Práctica de equilibrio líquido-vapor

##### ➤ Mediciones

- **Pipetas graduadas:** al igual que la bureta, tienen la desventaja que por su simple uso genera residuos, debido que el volumen que permanece en la punta de ellas es desechado.

##### ➤ Maquinaria

- **Equipo de destilación:** está constituido por varias piezas de vidrio, que al estar en funcionamiento presenta fallas por fugas de muestra en las uniones de esas piezas, debido a la falta de grasa lubrifiante apropiada, ya que actualmente se usa vaselina que resulta inadecuada a las condiciones de temperatura a la que se lleva la práctica; dichas fallas han sido controladas por los momentos, pero de no ser posible en determinada ocasión, las mezclas serán desechadas incrementando el gasto de reactivo y por ende mayor generación de residuos.

##### ➤ Método

- **Tratamientos de los residuos:** son debidamente tratados, ya que son recolectados, almacenados, recuperados y posteriormente reutilizados, tanto en la misma práctica, como en la práctica de equilibrio sólido-líquido.

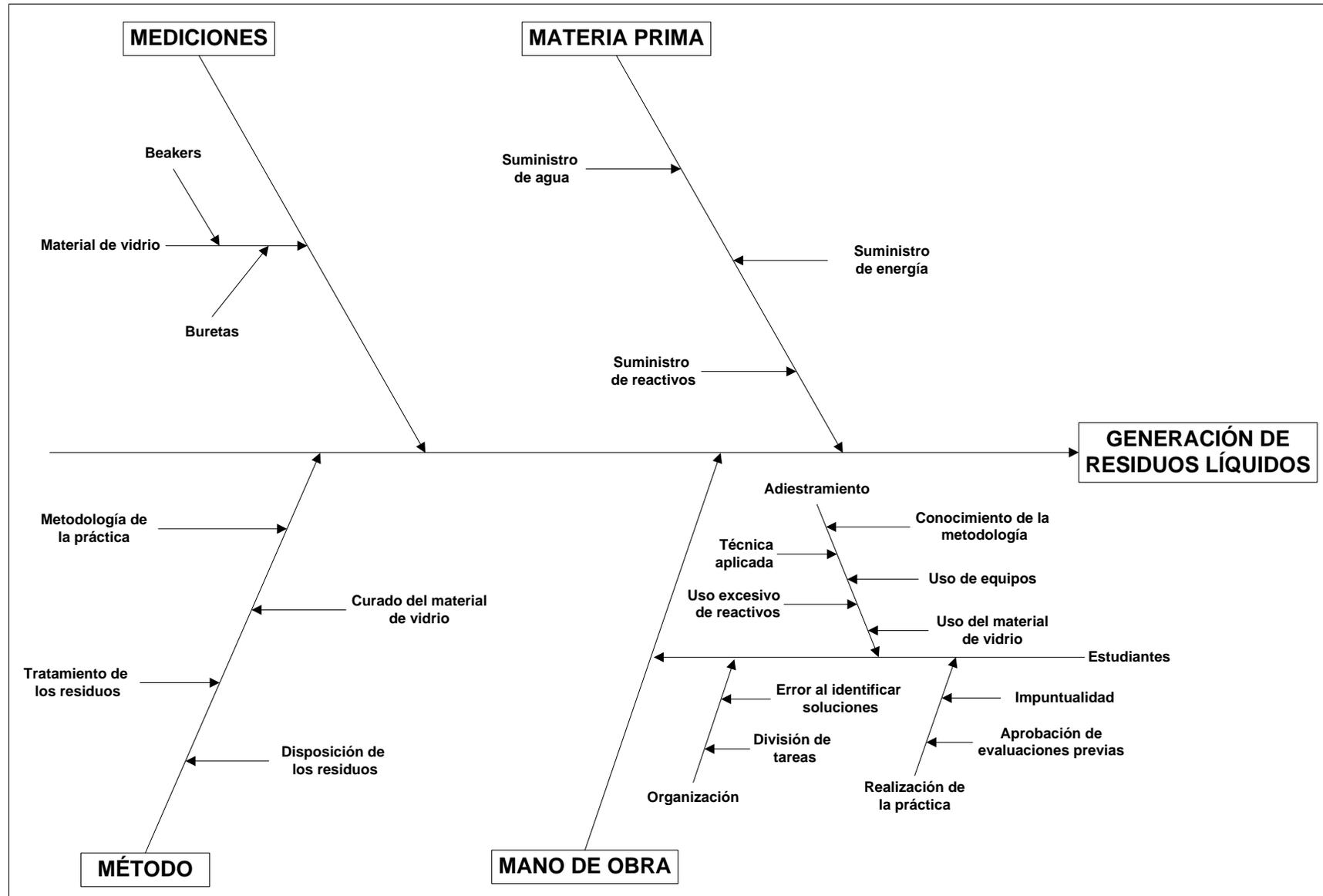


Figura 4.12. Diagrama causa-efecto simplificado de la generación de residuos en la práctica de calorimetría



- **Metodología de la práctica:** al momento de realizar la curva de calibración del índice de refracción en función de la composición de la mezcla n-hexano-etanol, existen pasos que al realizarlos incrementan tanto la cantidad de reactivos usados como de residuos generados, tal como: las mezclas binarias de 0 y 100 % p/p de n-hexano, son desechadas en lugar de ser reutilizadas para la alimentación del calderín.
- **Mano de obra. Adiestramiento.**
  - **Uso de equipos:** el refractómetro es manipulado de manera inadecuada, pues entre otras cosas manejan bruscamente el interruptor, lo que ha ocasionado que el equipo sufra daños e impida la continuación del experimento y por ende las mezclas que están siendo utilizadas incrementan la producción de residuos.
  - **Uso del material de vidrio:** al utilizar las pipetas graduadas y volumétricas, por descuido toman alícuotas sin mantener presente, con cuál solución están trabajando y al no identificarla, la desechan. En otros casos, utilizan un volumen superior al del aforo y dejan llegar el reactivo a la propipeta, contaminando el mismo, luego lo descartan y emplean una nueva alícuota para realizar la práctica.
  - **Técnica aplicada:** al desconocer las características de la mezcla binaria n-hexano-etanol, curan los beakers, pipetas y cilindro, lo que es una mala técnica, gastando un volumen mayor de reactivos al necesario para ejecutar la práctica; además, en algunas ocasiones, lavan el material de vidrio contaminándolo con agua, generando pérdida de tiempo al esperar el correcto secado en la estufa.
  - **Uso excesivo de reactivos:** es consecuencia de la técnica aplicada.

Las causas y sub causas que influyen en la generación de residuos líquidos en la práctica de equilibrio líquido-vapor se muestran de forma sintetizada en la figura 4.13.

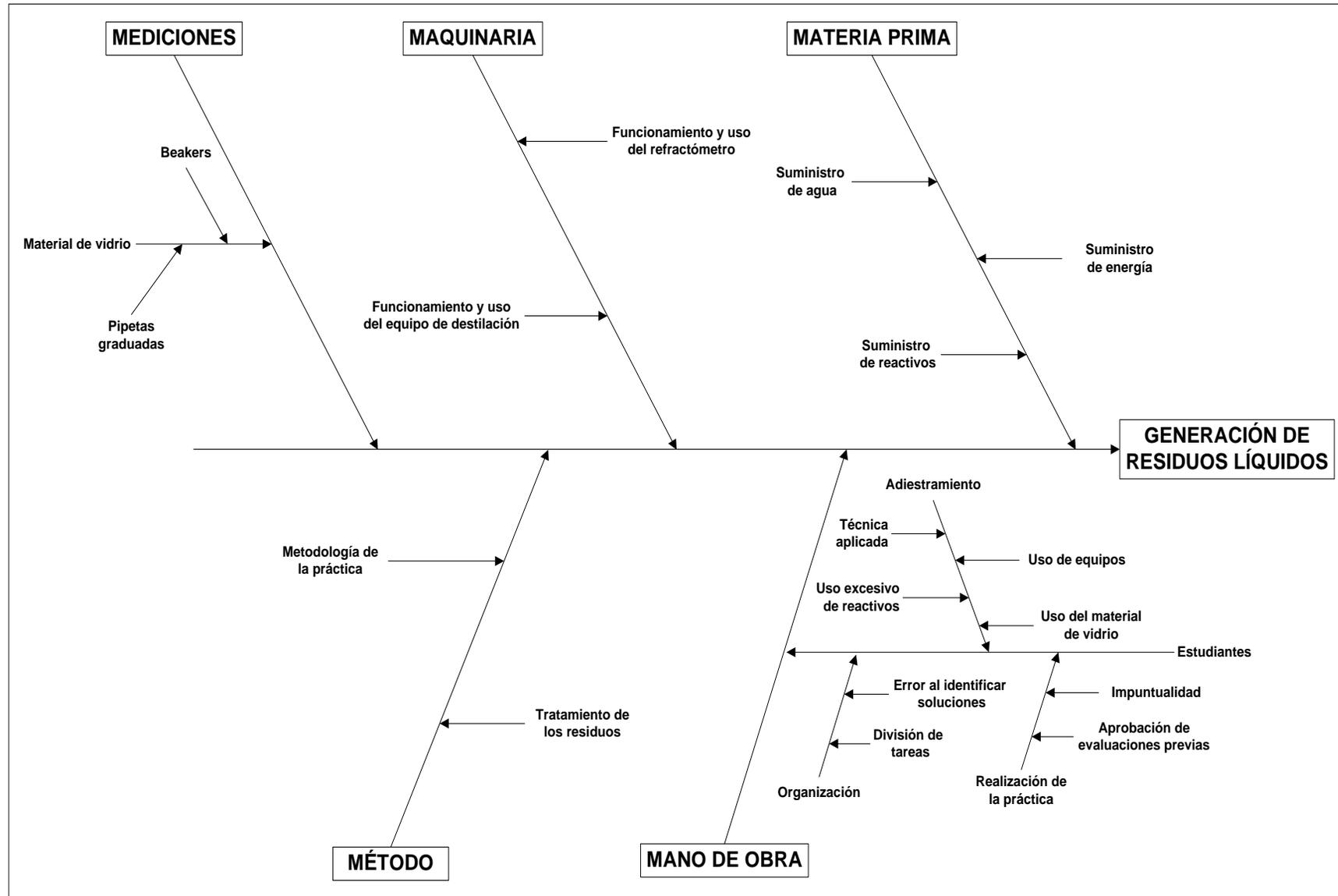


Figura 4.13. Diagrama causa-efecto simplificado de la generación de residuos en la práctica de líquido-vapor



#### 4.1.2.3. Práctica de equilibrio líquido-líquido

##### ➤ Mediciones

- **Buretas:** el volumen de residuos líquidos generados en esta práctica es aproximadamente cinco (5) veces mayor al generado en calorimetría por las mismas causas.

##### ➤ Método

- **Tratamientos de los residuos:** las fases orgánicas no tituladas son recuperadas mediante la recolección y almacenamiento, de las fases acuosas sólo una parte se trata a través de la neutralización que los alumnos realizan en el desarrollo experimental y no porque sea un procedimiento establecido en el laboratorio, mientras que el resto de las mezclas acuosas no se les aplica ningún tratamiento. Los hidróxidos, tanto alcohólico como acuoso y el ácido acético, son recolectados, almacenados y luego neutralizados entre ellos.
  - **Curado del material de vidrio:** esto contribuye a la generación de residuos mediante el curado de las buretas.
  - **Disposición de los residuos:** una vez que los estudiantes titulan las alícuotas de las fases tanto orgánicas como acuosas, conteniendo tolueno, acetato de sodio y fenolftaleína, son enviadas directamente al desagüe, al igual que las neutralizaciones entre los hidróxidos y el ácido acético.
  - **Lavado del material:** al lavar las fioles empleadas en las titulaciones, se producen residuos que contienen trazas de los compuestos mencionados.
- ##### ➤ Mano de obra. Adiestramiento.
- **Uso del material de vidrio:** al momento de preparar las soluciones binarias de ácido acético-tolueno y ácido acético-agua, existen casos en los que el volumen requerido supera la capacidad de la bureta, se enrasa y se abre posteriormente la válvula, dejando fluir el líquido completamente, es decir, se utiliza todo el reactivo presente en la bureta, incluso el restante en la punta de la misma, lo que trae como



consecuencia la obtención de resultados incorrectos que desvían los objetivos de la práctica y además, se aumenta el volumen de residuos desechados.

- **Técnica aplicada:** es errada en muchos aspectos, entre estos se tiene que: para titular sólo es necesario el uso de una (1) o dos (2) gotas máximo de fenolftaleína para observar el punto de final, pero en lugar de ello se agrega un volumen mayor en cada titulación.

También se observa que no conocen las normas adecuadas para la manipulación del material de vidrio, a pesar de que es un conocimiento adquirido con anticipación en cursos aprobados con anterioridad, por ejemplo, para el manejo de la bureta, se realiza una mala operación de la válvula, desconocimiento del volumen útil de esta, etc.

- **Uso excesivo de reactivos:** esto es consecuencia de la adición excesiva del indicador y el mal uso de la bureta.

En la figura 4.14 se muestra el diagrama de Ishikawa correspondiente a la práctica de equilibrio líquido-líquido.

#### 4.1.2.4. Práctica de conductimetría

##### ➤ Método

- **Metodología de la práctica:** existen muchas fallas en esta metodología que favorece en gran medida al aumento de los residuos, entre las que están: la falta de especificación del número de veces que se debe tomar la alícuota del cloruro de potasio para medir la conductancia; por otra parte, el exceso de volumen de cada solución preparada, del cual se usa aproximadamente la mitad.
- **Tratamientos de los residuos:** ninguno de los aquí producidos recibe algún tipo de tratamiento.
- **Lavado del material:** viene dado por el lavado de los balones aforados, las pipetas volumétricas y el envase donde se mide la conductancia.
- **Curado del material de vidrio:** proviene del curado de las pipetas volumétricas al usar una solución distinta.
- **Disposición de los residuos:** todos van a las aguas residuales o desagües.

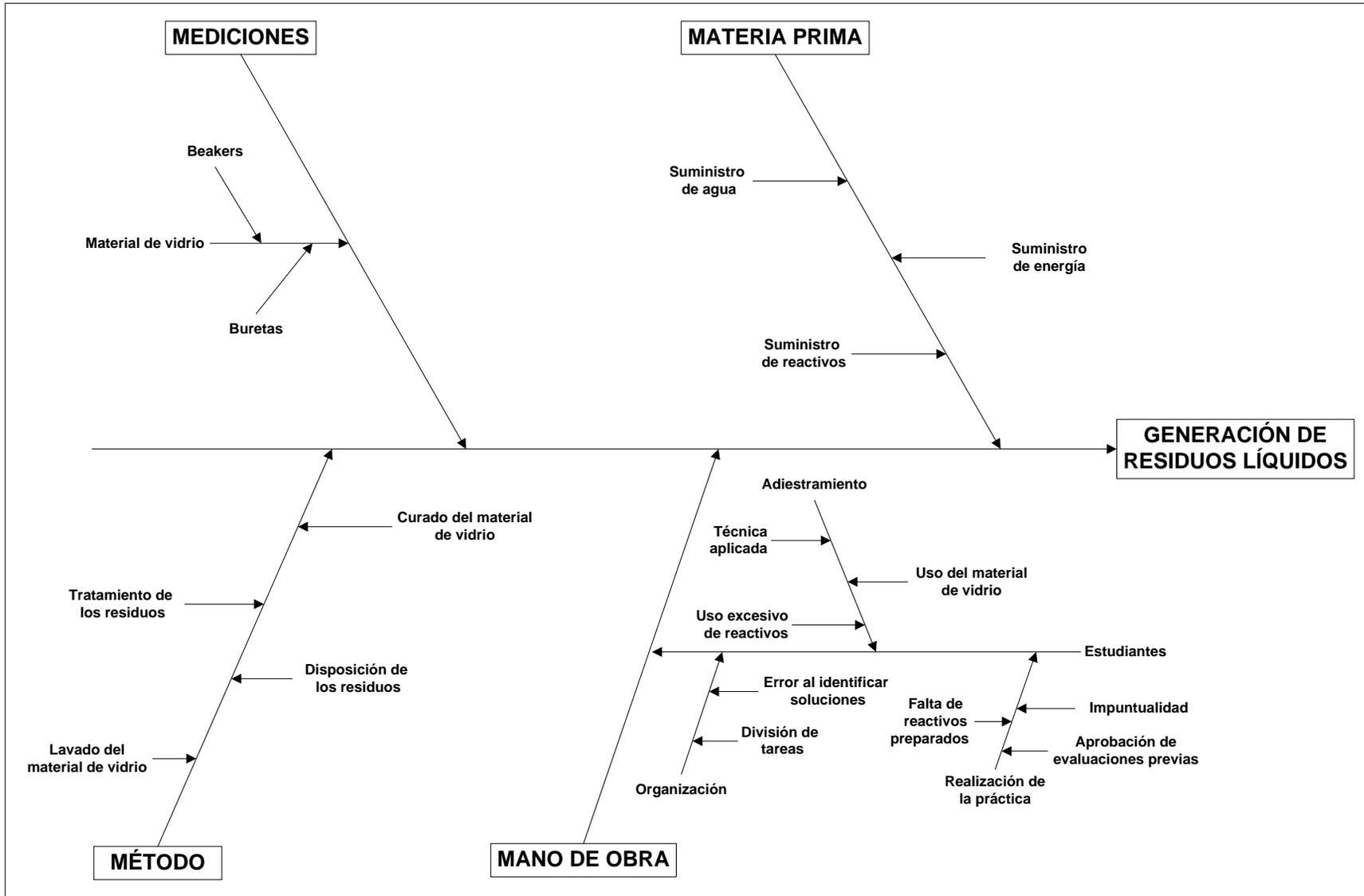


Figura 4.14. Diagrama causa-efecto simplificado de la generación de residuos en la práctica de líquido-líquido



➤ **Mano de obra. Adiestramiento.**

- **Conocimiento de la metodología:** no se identifican los balones aforados antes de preparar las soluciones, y al finalizar este paso colocan las etiquetas invertidas, es decir, las correspondientes al electrolito débil son adheridas a los balones que contienen al electrolito fuerte y viceversa, y al percatarse del error cometido las soluciones deben ser preparadas nuevamente.
- **Uso del material de vidrio:** se extralimita el volumen de agua destilada utilizada al aforar las soluciones en los balones y se desechan, por no tener la concentración requerida para el estudio y no consultar al preparador o docente, tomando nuevas alícuotas de reactivos.
- **Técnica aplicada:** desconocen el uso correcto de la propipeta, es decir, oprimen las válvulas sin saber el significado de la nomenclatura impresa en esta: A, S y E. Las mediciones de conductancia se realizan en un envase de vidrio, para el cual se requiere de 60 mL de muestra, como mínimo, para obtener valores confiables; pudiendo ser empleado un envase de menor capacidad y de plástico, para que no interfiera con las mediciones de conductancia.
- **Uso excesivo de reactivos:** esto es producto del uso inadecuado de balones de vidrio al preparar las soluciones, debido a las fallas propias de la metodología de la práctica y al uso incorrecto del material de vidrio.  
Las soluciones preparadas por la técnico para cubrir determinado número de prácticas, resultan insuficientes por el gasto excesivo de reactivo de parte de los alumnos, quedándose algunos de ellos sin reactivos para la ejecución de sus prácticas.

El diagrama de Ishikawa correspondiente al análisis realizado para la práctica de conductimetría se expone en la figura 4.15.

#### 4.1.2.5. Práctica de adsorción

➤ **Mediciones**

- **Buretas:** al igual que la empleada en calorimetría, se tiene la desventaja que el volumen que permanece en la punta de ellas no es utilizado y por ende desechado.

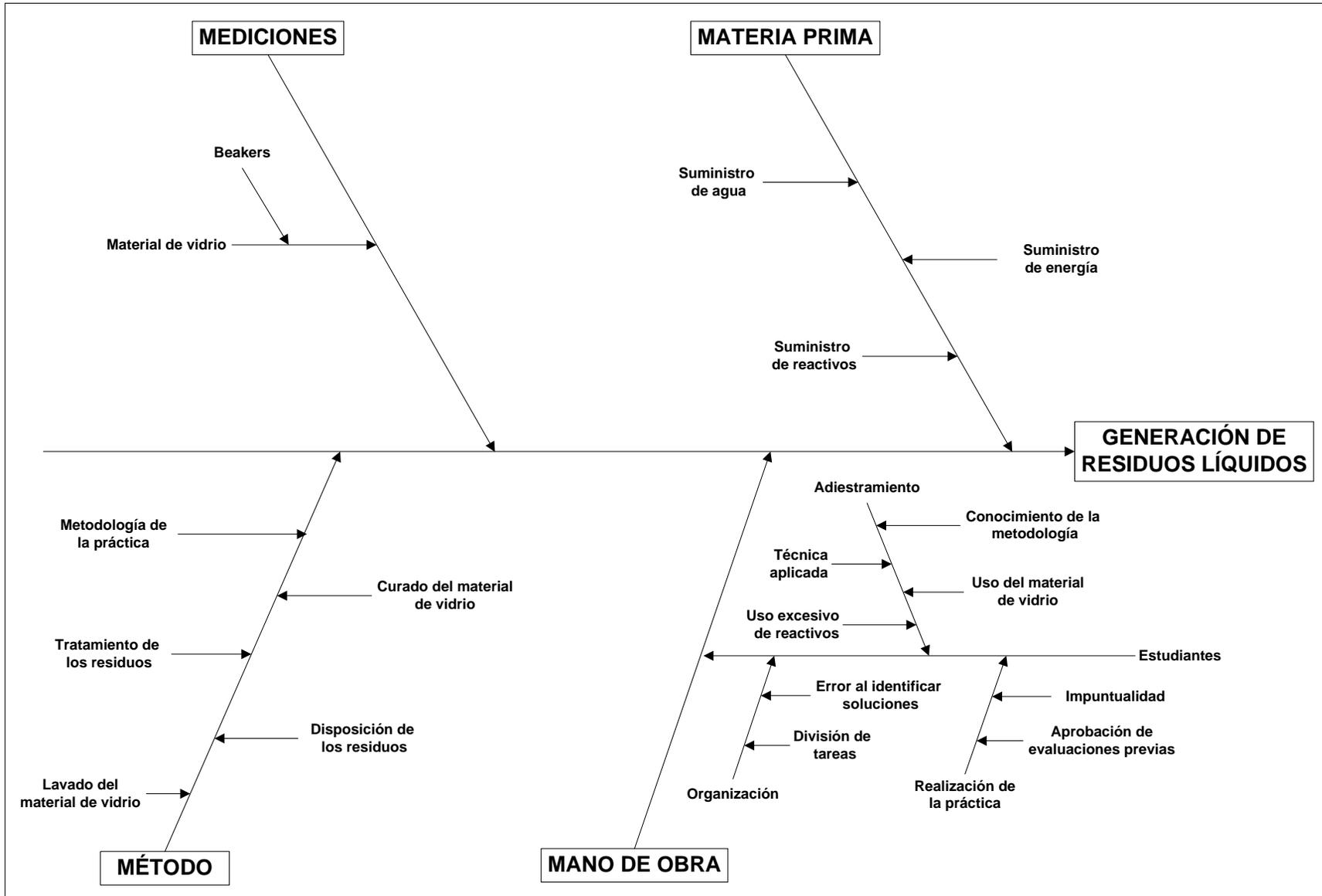


Figura 4.15. Diagrama causa-efecto simplificado de la generación de residuos en la práctica de conductimetría



➤ **Método**

- **Metodología de la práctica:** los pasos establecidos en esta, no afectan en mayor o menor medida la cantidad de residuos producidos.
- **Tratamiento de los residuos:** ninguno es tratado.
- **Curado del material de vidrio:** los residuos producidos por esta causa, se deben al curado de la bureta y las pipetas utilizadas.
- **Disposición de los residuos:** tanto los que han sido titulados como los que no, son vertidos al desagüe.

➤ **Mano de obra. Adiestramiento.**

- **Conocimiento de la metodología:** no se lleva a cabo el lavado y secado del material de vidrio, como lo indica el procedimiento del desarrollo experimental.
- **Uso de equipos:** en lugar de encender solo la agitación de la plancha, los estudiantes activan también el calentamiento de la misma, lo que afecta los resultados, pues a altas temperaturas la adsorción resultante al ser un proceso exotérmico sería muy pobre, sabiendo que a temperaturas elevadas se favorece la desorción y los adsorbatos gozan de un mayor nivel de energía, lo que implica mayor actividad de estos en la solución y disminuye las fuerzas de Van Der Waals (Maron y Prutton, 1999); generando un volumen de residuos innecesario, ya que no se alcanzan los objetivos de la práctica.
- **Uso del material de vidrio:** comúnmente al finalizar una titulación, los alumnos proceden a enrasar la bureta a cero nuevamente, en lugar de tomar el volumen restante como volumen de referencia para las siguientes valoraciones, gastando un volumen de reactivo excesivo.
- **Técnica aplicada:** una vez pesado el carbón activado no se aísla del ambiente, tanto el de recipiente del reactivo, como el pesado, sin considerar que este pudiera eventualmente adsorber humedad del aire, generando un volumen de residuos innecesario al no lograr los objetivos de la práctica.
- **Uso excesivo de reactivos:** al momento de medir las alícuotas de la solución madre, los alumnos toman reactivo en exceso, al igual que el hidróxido de sodio.



En la figura 4.16 se muestra el diagrama de Ishikawa correspondiente a la práctica de adsorción.

Las siguientes variables se explican de forma generalizada para las prácticas en estudio, debido a que su influencia es similar para todas ellas, aunque para *mediciones* y *mano de obra* algunas de las sub-causas ya han sido analizadas.

➤ **Mediciones**

Cabe destacar que los **beakers** son utilizados en todas las prácticas, siendo generadores de residuos en todas ellas, porque al tomar las alícuotas de los reactivos siempre es necesario tomar un exceso de los mismos, para evitar que al momento de usar las pipetas, por ejemplo, se succione aire aún cuando el volumen restante en el beaker sea el requerido.

➤ **Materia prima**

El suministro de energía afecta directamente debido a que sin electricidad los equipos como: balanza digital, plancha de calentamiento y agitación, conductímetro y todos los demás empleados no funcionan; si la energía eléctrica falla durante la ejecución de la práctica, los reactivos y soluciones preparadas deben ser desechadas.

El suministro de agua es un factor de gran importancia, ya que es indispensable para el lavado del material utilizado, acentuándose aún más su requerimiento en la práctica de equilibrio líquido-vapor, en la que se necesita la recirculación continua para el enfriamiento del condensador del sistema de destilación y el refractómetro.

La existencia o carencia de reactivos en el LFQ, es una causa muy influyente en la realización de las prácticas, debido que al faltar alguno de ellos no se llevaría a cabo el desarrollo experimental o se podría suspender el mismo, generando mayor cantidad de residuos al tener que realizarla nuevamente.

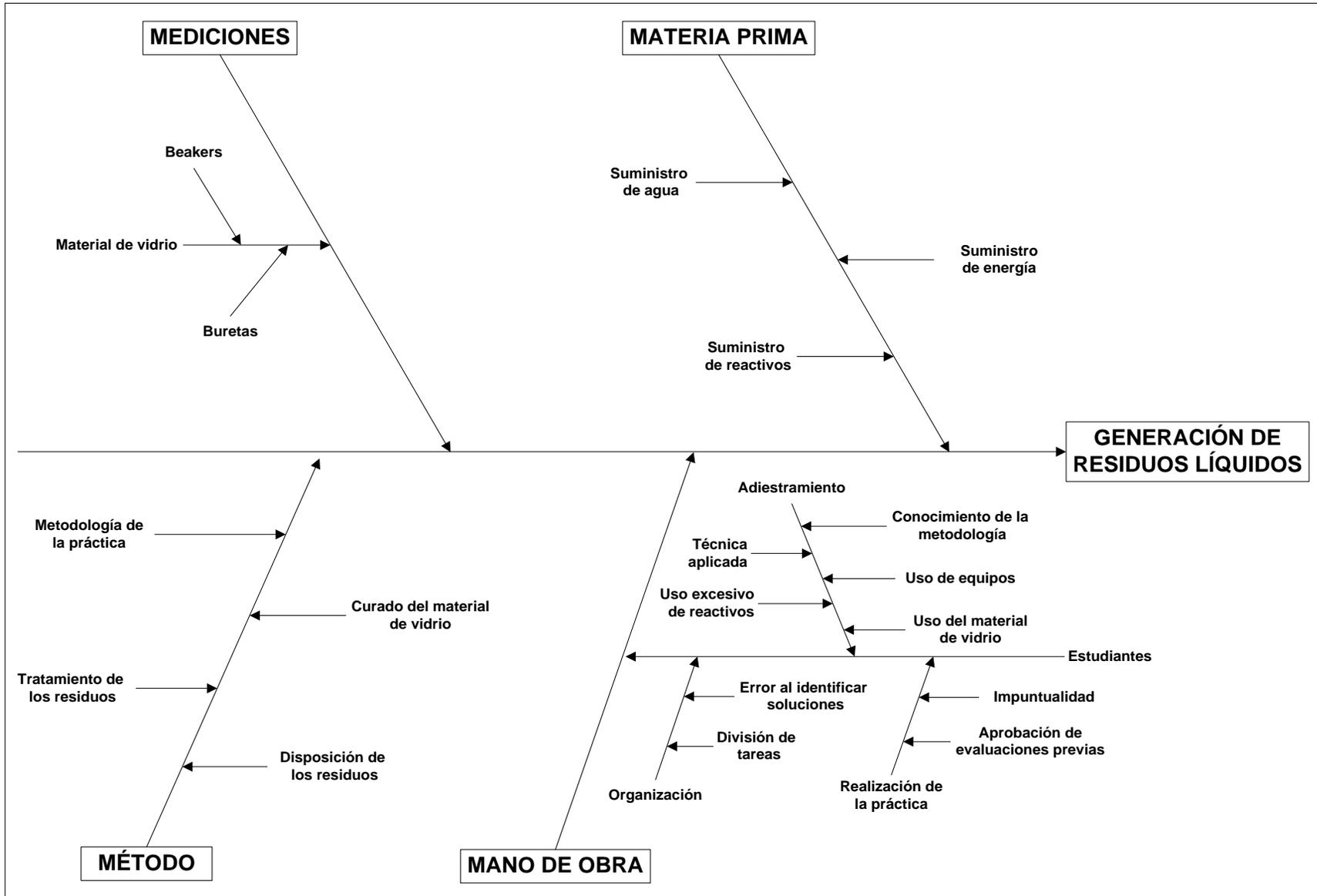


Figura 4.16. Diagrama causa-efecto simplificado de la generación de residuos en la práctica de adsorción



### ➤ **Mano de obra**

Una sub-causa de mucha importancia en la generación de residuos en todas las prácticas, es la **organización** de los estudiantes en cuanto a la división de las tareas a realizar, siendo las más notables: equilibrio líquido-líquido, conductimetría y adsorción, en las que el error más común es la preparación de las soluciones y mezclas que emplearán para el desarrollo de las prácticas, lo que impide efectuar de manera más rápida y organizada la labor.

El problema en estudio también se ve afectado por la **realización o no de las prácticas**, que depende: de la aprobación de las evaluaciones previas por parte de los integrantes de un equipo y de la impuntualidad de algún integrante, que por cualquier motivo no llegue al laboratorio y por ende sea retirado de la práctica, la repetición de estas fallas ocasiona la expulsión de la materia, lo que al final conlleva a que se produzcan residuos líquidos innecesarios y principalmente pérdida de reactivos.

## **4.2. Caracterización de los residuos generados en las prácticas realizadas**

En este apartado se analizan los volúmenes acumulados para cada residuo recolectado.

### **4.2.1. Muestreo y cuantificación de los volúmenes acumulados durante el periodo de recolección**

Es importante señalar que existe gran variabilidad en cuanto al volumen recolectado de ciertos residuos; tal es el caso del KCl empleado en la práctica de conductimetría, donde las cantidades acumuladas por semana son:  $(255 \pm 15)$  mL,  $(435 \pm 15)$  mL y  $(180 \pm 15)$  mL, en la primera, segunda y tercera semana respectivamente (ver tabla C.1); siendo la segunda la más notable en la generación de residuos, con volúmenes de:  $(190 \pm 5)$  mL,  $(130 \pm 5)$  mL y  $(120 \pm 5)$  mL por práctica (ver tabla en apéndice A.3), debido al desconocimiento de la metodología y fallas propias de la misma, lo que trae como consecuencia el gasto desmedido de reactivo.



Las cantidades de hidróxido recolectado siempre difieren unas de otras, tanto en la misma práctica como en las demás, una pequeña porción de la generación de residuos se debe al uso de la bureta y la mayor parte es causada por la mano de obra de los estudiantes.

La práctica de conductimetría se caracteriza por ser la mayor generadora de desechos en el LFQ, siendo el volumen acumulado durante el tiempo de recolección de  $(15.165 \pm 270)$  mL, generándose en un semestre regular de nueve secciones  $(92.340 \pm 1620)$  mL.

Aunado a esto, las diferencias entre los volúmenes recolectados de cada residuo viene dado por muchos factores, siendo algunos de ellos: que los alumnos desechan las muestras y no la agregan en los depósitos respectivos, además, en las prácticas de conductimetría y adsorción preparan las mismas soluciones reiteradamente, ya que se equivocan al momento de aforarlas. Esto es ocasionado, entre otras cosas, por la falta de consciencia que tienen los estudiantes, en cuanto a la dificultad que presenta el LFQ para adquirir los reactivos necesarios para los desarrollos experimentales.

**Tabla 4.1. Volúmenes acumulados durante el período de recolección y el estimado a generar en un semestre**

Prácticas	Tipos de residuos	Volumen final ( $V_f \pm 45$ ) mL	Volumen en el semestre ( $V_{\text{semestre}} \pm 270$ ) mL
Calorimetría	HNO <sub>3</sub> titulado	720	4.320
	NaOH <sub>calorimetría</sub>	315	1.890
Equilibrio líquido-vapor	Exceso de n-hexano	135	810
	Exceso de etanol	225	1.350
	n-hexano-etanol (calibración)	945	5.670
	Mezcla recuperada	270	1.620
Equilibrio líquido-líquido	HAc <sub>liq-liq</sub>	45	270
	Tolueno	225	1.350
	Fases no tituladas	720	4.320
	Fases tituladas	1.575	9.450
	NaOH <sub>acuoso liq-liq</sub>	270	1.620
	NaOH <sub>alcohólico liq-liq</sub>	225	1.350



**Tabla 4.1. Volúmenes acumulados durante el período de recolección y el estimado a generar en un semestre (continuación)**

Prácticas	Tipos de residuos	Volumen final ( $V_f \pm 45$ ) mL	Volumen en el semestre ( $V_{\text{semestre}} \pm 270$ ) mL
Conductimetría	NaCl	1.935	17.550
	HCl <sub>diluido</sub>	3.555	15.930
	HAC <sub>diluido</sub>	8.370	50.220
	HAC <sub>conductimetría</sub>	180	1.080
	HCl <sub>conductimetría</sub>	270	1.620
	KCl	855	5.130
Adsorción	Exceso de ácido oxálico	270	1.620
	Ácido oxálico titulado	360	2.160
	Ácido oxálico filtrado	2.790	16.740
	Ácido oxálico filtrado titulado	2.070	12.420
	NaOH <sub>adsorción</sub>	450	2.700

En cuanto a los análisis fisicoquímicos realizados a fin de conocer las características de los residuos recolectados, se detallan a continuación los resultados obtenidos:

#### 4.2.1.1. Práctica de calorimetría

Se determina pH como una medida de la acidez o basicidad de una solución, tal como se indica para los residuos en estudio:

**HNO<sub>3</sub> titulado:** el pH final de este residuo es ( $6,68 \pm 0,01$ ) unidades, lo que indica que los hidronios del ácido han sido neutralizados con el hidróxido de sodio; a pesar de esto contiene fenolftaleína en su composición, que como se sabe es un compuesto tóxico. Es importante mencionar que los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados tanto al HNO<sub>3</sub> titulado, como a los demás residuos considerados en esta investigación se encuentran reflejados en la tabla 4.2.



Tabla 4.2 Análisis realizados a los residuos recolectados para su caracterización

Práctica	Residuo	Análisis	Resultados	Porcentaje de desviación (%D $\pm$ 2)
Calorimetría	HNO <sub>3</sub> titulado	pH (pH $\pm$ 0,01) adim	6,68	-----
	NaOH <sub>calorimetría</sub>	pH (pH $\pm$ 0,01) adim	12,62	-----
		Conductancia (L $\pm$ 1 $\cdot$ 10 <sup>-5</sup> ) $\Omega^{-1}$	315 $\cdot$ 10 <sup>-5</sup>	-----
		Concentración (C $\pm$ 0,0003) N	0,0216	8
Equilibrio líquido-vapor	Exceso de n-hexano	pH (pH $\pm$ 0,01) adim	6,825	-----
		Índice de refracción ( $\eta_{\text{corregido}} \pm 0,001$ ) adim	1,372	0,22 **
		Conductancia (L $\pm$ 1 $\cdot$ 10 <sup>-7</sup> ) $\Omega^{-1}$	6 $\cdot$ 10 <sup>-7</sup>	-----
	Exceso de etanol	pH (pH $\pm$ 0,001) adim	6,762	-----
		Índice de refracción ( $\eta_{\text{corregido}} \pm 0,001$ ) adim	1,362	0,08 **
		Conductancia (L $\pm$ 1 $\cdot$ 10 <sup>-7</sup> ) $\Omega^{-1}$	40 $\cdot$ 10 <sup>-7</sup>	-----
	n-hexano-etanol (calibración)	pH (pH $\pm$ 0,001) adim	6,113	-----
		Índice de refracción ( $\eta_{\text{corregido}} \pm 0,001$ ) adim	1,367	-----
		Conductancia (L $\pm$ 1 $\cdot$ 10 <sup>-7</sup> ) $\Omega^{-1}$	120 $\cdot$ 10 <sup>-7</sup>	-----
	Mezcla recuperada	pH (pH $\pm$ 0,001) adim	5,112	-----
		Índice de refracción ( $\eta_{\text{corregido}} \pm 0,001$ ) adim	1,365	-----
		Conductancia (L $\pm$ 1 $\cdot$ 10 <sup>-7</sup> ) $\Omega^{-1}$	40 $\cdot$ 10 <sup>-7</sup>	-----
Equilibrio líquido-líquido	HAc <sub>liq-liq</sub>	pH (pH $\pm$ 0,01) adim	0 adim	-----
		Índice de refracción ( $\eta_{\text{corregido}} \pm 0,001$ ) adim	1,371	0
		Conductancia (L $\pm$ 1 $\cdot$ 10 <sup>-7</sup> ) $\Omega^{-1}$	592 $\cdot$ 10 <sup>-7</sup>	-----
		Concentración (C $\pm$ 0,1) N	15,2	8
		Test de Rosen	Negativo	-----
	Exceso de tolueno	pH (pH $\pm$ 0,001) adim	4,928	-----
		Conductancia (L $\pm$ 1 $\cdot$ 10 <sup>-7</sup> ) $\Omega^{-1}$	35 $\cdot$ 10 <sup>-7</sup>	-----
		Índice de refracción ( $\eta_{\text{corregido}} \pm 0,001$ ) adim	1,493	0
		Transmitancia (T $\pm$ 0,5) %	90,0	-----
	Fases no tituladas (fracción orgánica)	pH (pH $\pm$ 0,001) adim	0,990	-----
		Conductancia (L $\pm$ 1 $\cdot$ 10 <sup>-7</sup> ) $\Omega^{-1}$	2 $\cdot$ 10 <sup>-7</sup>	-----
	Fases no tituladas (fracción acuosa)	pH (pH $\pm$ 0,001) adim	0,678	-----
		Conductancia (L $\pm$ 1 $\cdot$ 10 <sup>-5</sup> ) $\Omega^{-1}$	110 $\cdot$ 10 <sup>-5</sup>	-----

\*\* El error correspondiente a estos valores es  $\pm$  0,04 %



Tabla 4.2. Análisis realizados a los residuos recolectados para su caracterización (continuación)

Práctica	Residuo	Análisis	Resultados	Porcentaje de Desviación (%D ± 2)
Equilibrio líquido-líquido	Fases tituladas (fracción orgánica)	pH (pH ± 0,001) adim	5,207	-----
		Conductancia (L ± 1·10 <sup>-7</sup> ) Ω <sup>-1</sup>	1·10 <sup>-7</sup>	-----
		Índice de refracción (η <sub>corregido</sub> ± 0,001) adim	1,493	-----
		Transmitancia (T ± 0,5) %	89,0	-----
		Composición **	94,15% tolueno	-----
	Fases tituladas (fracción acuosa)	pH (pH ± 0,001) adim	8,817	-----
		Conductancia (L ± 1·10 <sup>-5</sup> ) Ω <sup>-1</sup>	4300·10 <sup>-5</sup>	-----
	NaOH <sub>acuoso</sub> liq-liq	pH (pH ± 0,01) adim	13,63	-----
		Conductancia (L ± 1·10 <sup>-5</sup> ) Ω <sup>-1</sup>	21800·10 <sup>-5</sup>	-----
		Concentración (C ± 0,01) M	2,02	2
		Test de Rosen	Negativo	-----
	NaOH <sub>alcohólico</sub> liq-liq	pH (pH ± 0,001) adim	12,210	-----
		Conductancia (L ± 1·10 <sup>-5</sup> ) Ω <sup>-1</sup>	4200·10 <sup>-5</sup>	-----
		Concentración (C ± 0,01) N	2,91	-----
Test de Rosen		Negativo	-----	
Conductimetría	NaCl	pH (pH ± 0,01) adim	6,75	-----
		Conductancia (L ± 1·10 <sup>-5</sup> ) Ω <sup>-1</sup>	64·10 <sup>-5</sup>	-----
		Pruebas de la llama de K <sup>+</sup>	Negativo	-----
	HCl <sub>diluido</sub>	pH (pH ± 0,01) adim	2,73	-----
		Conductancia (L ± 1·10 <sup>-5</sup> ) Ω <sup>-1</sup>	28·10 <sup>-5</sup>	-----
		Concentración (C ± 0,0001) N	0,0008	-----
		Pruebas de la llama de Na <sup>+</sup>	Negativo	-----
		Pruebas de la llama de K <sup>+</sup>	Negativo	-----
	HAc <sub>diluido</sub>	pH (pH ± 0,01) adim	2,52	-----
		Conductancia (L ± 1·10 <sup>-5</sup> ) Ω <sup>-1</sup>	100·10 <sup>-5</sup>	-----
		Concentración (C ± 0,01) N	0,48	-----
		Pruebas de la llama de Na <sup>+</sup>	Negativo	-----
		Pruebas de la llama de K <sup>+</sup>	Negativo	-----

\*\* Composición obtenida mediante cromatografía de gases



Tabla 4.2. Análisis realizados a los residuos recolectados para su caracterización (continuación)

Práctica	Residuo	Análisis	Resultados	Porcentaje de desviación (%D $\pm$ 2)	
Conductimetría	HAC <sub>conductimetría</sub>	pH (pH $\pm$ 0,01) adim	0,27	-----	
		Índice de refracción ( $\eta_{\text{corregido}} \pm 0,001$ ) adim	1,371	0	
		Conductancia ( $L \pm 1 \cdot 10^{-5}$ ) $\Omega^{-1}$	$11 \cdot 10^{-5}$	-----	
		Concentración (C $\pm$ 0,04) N	15,48	6	
		Pruebas de la llama de Na <sup>+</sup>	Negativo	-----	
		Pruebas de la llama de K <sup>+</sup>	Negativo	-----	
	HCl <sub>conductimetría</sub>	pH (pH $\pm$ 0,01) adim	2,34	-----	
		Conductancia ( $L \pm 1 \cdot 10^{-5}$ ) $\Omega^{-1}$	$325 \cdot 10^{-5}$	-----	
		Concentración (C $\pm$ 0,0001) N	0,0091	8	
		Pruebas de la llama de Na <sup>+</sup>	Negativo	-----	
		Pruebas de la llama de K <sup>+</sup>	Negativo	-----	
	KCl	pH (pH $\pm$ 0,01) adim	6,70	-----	
Conductancia ( $L \pm 1 \cdot 10^{-5}$ ) $\Omega^{-1}$		$1069 \cdot 10^{-5}$	-----		
Pruebas de la llama de Na <sup>+</sup>		Negativo	-----		
Adsorción	Exceso de ácido oxálico	pH (pH $\pm$ 0,01) adim	1,64	-----	
		Concentración (C $\pm$ 0,003) M	0,204	-----	
	Ácido oxálico titulado	pH (pH $\pm$ 0,01) adim	11,94	-----	
	Ácido oxálico filtrado	pH (pH $\pm$ 0,01) adim	2,02	-----	
		Concentración (C $\pm$ 0,0001) N	0,0009	-----	
	Ácido oxálico filtrado titulado	pH (pH $\pm$ 0,01) adim	6,89	-----	
		NaOH <sub>adsorción</sub>	pH (pH $\pm$ 0,01) adim	13,81	-----
			Concentración (C $\pm$ 0,01) M	0,25	-----
Conductancia ( $L \pm 1 \cdot 10^{-5}$ ) $\Omega^{-1}$			$427 \cdot 10^{-5}$	-----	



**NaOH<sub>calorimetría</sub>**: mediante la valoración ácido-base con ácido oxálico 0,0148N, se tiene que la concentración del hidróxido es  $(0,0216 \pm 0,0003)$  N, representando una desviación de  $(8 \pm 2)$  % respecto a la concentración del reactivo y tiene además un pH al final de la recolección de  $(12,62 \pm 0,01)$  unidades.

La conductancia es una magnitud, que se expresa como el inverso de la resistencia de un conductor electrolítico al paso de la corriente, siendo los valores medidos para NaOH<sub>calorimetría</sub> en cada semana de recolección  $(261 \cdot 10^{-5} \pm 1 \cdot 10^{-5})$ ,  $(358 \cdot 10^{-5} \pm 1 \cdot 10^{-5})$  y  $(408 \cdot 10^{-5} \pm 1 \cdot 10^{-5}) \Omega^{-1}$  (ver tabla en apéndice A.6), esta variación puede ser porque las soluciones de hidróxido utilizadas en cada una de ellas son de distinta concentración, es decir, provienen de la dilución de una solución estandarizada, sin verificar luego la nueva concentración de la preparada. Por otra parte, el valor medido al volumen total es  $(315 \cdot 10^{-5} \pm 1 \cdot 10^{-5})$ .

La diferencia entre estos valores de conductancia puede ser debida a dos causas: la disolución o solubilización de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) del ambiente en las soluciones acuosas y/o a la oxidación del electrolito; en el primer caso se forma ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) cuya conductancia compite con la del electrolito, debido a que se disocia rápidamente en protones ( $\text{H}^+$ ) e iones bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ); mientras que al ocurrir la oxidación de la solución electrolítica, se tiene un intercambio de iones y se forman nuevos compuestos que varían la conductancia de la solución original.

Los valores de pH y conductancia indican que al mezclar los distintos hidróxidos de concentraciones similares, se obtiene un producto con características muy parecidas a la de las soluciones individuales.

#### **4.2.1.2. Práctica de equilibrio líquido-vapor**

Debido a que la refractometría es una técnica analítica que consiste en medir el índice de refracción de un líquido con el objeto de investigar su composición, se le aplica a algunos residuos, como el exceso de etanol y n-hexano, para determinar si se trata de una mezcla o de un compuesto prácticamente puro.

**Exceso de etanol:** el índice de refracción obtenido para este residuo es de  $(1,362 \pm 0,001)$  adim, siendo exactamente igual al medido para el etanol grado reactivo empleado en el laboratorio, es decir, el exceso de etanol acumulado durante el período de recolección posee una pureza semejante al reactivo utilizado en las prácticas; por otro lado, el índice de refracción bibliográfico para el etanol es 1,361 adim a 20 °C, obtenido del sitio web de la empresa Cienytech Ciencia y Tecnología (Cienytech, 2003), como se observa en la tabla del apéndice D.1, la diferencia entre este valor y el obtenido para el residuo puede ser debida a la diferencia de las condiciones en las que se han llevado a cabo ambas mediciones, es decir, el valor reportado en la bibliografía es medido en un entorno controlado, mientras que el del residuo es obtenido a las condiciones ambientales del LFQ para ese instante, adicionalmente, se deben considerar las condiciones de uso y calibración del refractómetro, pues al pasar los años el estado del equipo no es el mismo, y en ocasiones se dificulta la observación de la media luna con claridad (ver figura 4.17).

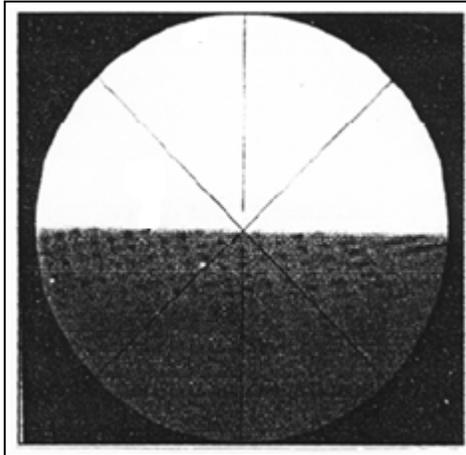


Figura 4.17. Visualización de lectura del refractómetro

**Exceso de n-hexano:** el valor del índice de refracción medido para este residuo es  $(1,372 \pm 0,001)$  adim, y el bibliográfico es 1,375 adim (Cienytech, 2003) con un porcentaje de desviación entre ellos de  $(0,22 \pm 0,04)$  %, debido a las razones antes explicadas; sin embargo, el valor medido es igual que el determinado para el reactivo



utilizado en la práctica, indicando que el residuo recolectado posee las mismas características que el antes mencionado.

**Mezcla n-hexano-etanol (calibración):** tiene un índice de refracción de  $(1,367 \pm 0,001)$  adim, indicando que es una mezcla binaria con una composición molar aproximada de  $(0,40 \pm 0,05)$  adim en n-hexano, obtenida de la curva de calibración de índice de refracción en función de la composición molar de este último (ver figura en apéndice C.1).

**Mezcla recuperada:** esta mezcla no sólo es el resultado de la destilación, contiene además las soluciones empleadas para el lavado del calderín y tiene un índice de refracción de  $(1,365 \pm 0,001)$ , siendo indicativo que es una mezcla con una alta concentración de etanol; sin embargo este valor se ve afectado por la presencia de la vaselina utilizada como lubricante de las conexiones esmeriladas de vidrio del equipo de destilación, lubricante inadecuado a las condiciones de temperatura a la que se lleva la práctica, como ya se dijo anteriormente en el diagnóstico de los reactivos utilizados en el equilibrio líquido-vapor al explicar la variable “maquinaria”.

La conductancia de los cuatro (4) residuos mencionados anteriormente para esta práctica es:  $(40 \cdot 10^{-7} \pm 1 \cdot 10^{-7}) \Omega^{-1}$ ,  $(6 \cdot 10^{-7} \pm 1 \cdot 10^{-7}) \Omega^{-1}$ ,  $(120 \cdot 10^{-7} \pm 1 \cdot 10^{-7}) \Omega^{-1}$  y  $(40 \cdot 10^{-7} \pm 1 \cdot 10^{-7}) \Omega^{-1}$ , los valores obtenidos no son significativos, debido a que muchas moléculas orgánicas al no disociarse en el agua, conducen la corriente en muy baja magnitud (Conductividad, 1997), estas mediciones se realizan con la finalidad de verificar el nivel de pureza de estos residuos, pues de haber obtenido valores significativos, sería un indicio de la presencia de algún contaminante.

#### 4.2.1.3. Práctica de equilibrio líquido-líquido

**HAc<sub>liq-liq</sub>:** la concentración obtenida mediante una valoración ácido-base con hidróxido de sodio 1,8750 N es  $(15,2 \pm 0,1)$  N, y la calculada para el reactivo al 99,8 % p/v empleado en el laboratorio es 16,6 M, tomando en cuenta que el número de especies



activas es igual a uno (1), esta es 16,6 N, con lo que se obtiene que el residuo recuperado difiere en  $(8 \pm 2) \%$ .

Al determinar el pH de este residuo con el pH-metro ubicado en las instalaciones del LabTA de la Universidad de Carabobo se obtiene un valor de  $(-0,04 \pm 0,01)$  unidades, el cual por ser una magnitud negativa, resulta ilógico e incorrecto para ser reportado, pero al repetir dicho análisis haciendo uso del papel indicador de pH se obtiene un valor de cero (0) unidades, corroborando con esto la alta concentración en protones de este residuo.

El índice de refracción corregido del  $\text{HAc}_{\text{liq-liq}}$  es  $(1,371 \pm 0,001)$  adim, siendo igual al determinado para el reactivo del laboratorio. Al aplicar el análisis cualitativo para determinar la presencia de aromáticos (Test de Rosen), a fin de determinar si se encuentra contaminado con el tolueno empleado en la práctica, no se observa la coloración de la solución indicando la ausencia del núcleo aromático.

Todo esto permite establecer que el  $\text{HAc}_{\text{liq-liq}}$ , tiene las características necesarias para ser considerado como un compuesto puro sin contaminantes, por lo que podría ser recuperado y utilizado nuevamente.

**Exceso de tolueno:** al igual que el empleado en las prácticas de laboratorio este residuo tiene un índice de refracción de  $(1,493 \pm 0,001)$  adim (ver tabla en apéndice C.2), siendo indicativo que el residuo recolectado tiene una composición semejante a la del tolueno grado reactivo. Además, posee una conductancia de  $(35 \cdot 10^{-7} \pm 1 \cdot 10^{-7}) \Omega^{-1}$ . Este valor indica que este compuesto prácticamente no se disocia en agua o es muy pobre dicha disociación, por lo tanto el valor de la conductancia es muy bajo comparado con el de las soluciones electrolíticas de KCl e hidróxido de sodio, por ejemplo.

El porcentaje de transmitancia medido es  $(90,0 \pm 0,5) \%$  y el pH es  $(4,928 \pm 0,001)$  unidades, ambas características resultan semejantes al reactivo utilizado en la práctica



de equilibrio líquido-líquido (ver tabla en apéndice A.12); el valor de pH obtenido puede ser debido a que el tolueno posee un valor de  $pK_a$  igual a 43, siendo esta variable una forma conveniente de expresar la relativa fortaleza de un ácido (Quiored, 2003), es decir, aunque la constante de acidez ( $K_a$ ) del tolueno sea muy pequeña tiene tendencia ácida, por lo tanto, tiene un pH inferior al neutro, lo que indica que el exceso de tolueno recuperado puede ser reutilizado, en lugar de ser recolectado y almacenado en un estante.

**Fases no tituladas:** la fase orgánica tiene un pH de  $(0,990 \pm 0,001)$  unidades, lo que significa que en la mezcla existe una gran proporción de ácido acético, al igual que en la fase acuosa, que presenta un pH de  $(0,678 \pm 0,001)$  unidades, siendo ambos muy ácidos para verter esas mezclas en el desagüe; sus conductancias son  $(2 \cdot 10^{-7} \pm 1 \cdot 10^{-7})\Omega^{-1}$  y  $(110 \cdot 10^{-5} \pm 1 \cdot 10^{-5})\Omega^{-1}$ , respectivamente, lo que resulta muy lógico debido que la fase orgánica está compuesta en su mayoría por tolueno el cual tiene un valor de conductancia bajo, mientras que en la fase acuosa se tiene una mayor de composición de ácido acético, que es una solución electrolítica.

No se tienen reportes adicionales de análisis fisicoquímicos que permitan conocer otras características de las fases no tituladas, tales como las composiciones porcentuales de los sustancias que integran las mezclas, debido a la exigencia de los **laboratorios de análisis químicos**, de que las muestras a analizar no contengan presencia de agua, ni ácidos, para así garantizar el buen funcionamiento de sus equipos, como es el caso del cromatógrafo Shimadzu GC-14 ubicado en las instalaciones del *Centro de Investigaciones Toxicológicas de la Universidad de Carabobo (CITUC)*.

**Fases tituladas:** la fase acuosa tiene un valor de  $(8,817 \pm 0,001)$  unidades de pH, denotando el exceso de hidróxido empleado por los estudiantes en las titulaciones, y una conductancia de  $(4300 \cdot 10^{-5} \pm 1 \cdot 10^{-5})\Omega^{-1}$ , el cual es un valor más alto que el obtenido para la fase acuosa, que es de  $(1 \cdot 10^{-7} \pm 1 \cdot 10^{-7})\Omega^{-1}$  debido a la presencia de una buena cantidad de iones  $OH^-$  del hidróxido.



La fracción orgánica obtenida tiene un pH de  $(5,207 \pm 0,001)$  unidades y un índice de refracción de  $(1,493 \pm 0,001)$  adim, la transmitancia determinada para este residuo es de  $(89,0 \pm 0,5)$  %, mientras que la medida para el tolueno reactivo es de  $(90 \pm 0,5)$  % y mediante la cromatografía de gases realizada en las instalaciones del CITUC se obtiene que la muestra contiene 94,15 % de tolueno.

Todos estos valores indican que la fracción orgánica proveniente de las fases tituladas, es tolueno con un alto grado de pureza, y que posee aproximadamente un 6% de contaminantes, que pueden ser ácido acético y en menor proporción compuestos presentes en la solución acuosa. La baja concentración del ácido en este residuo puede deberse, a que este ha sido neutralizado en la valoración realizada por los estudiantes formando acetato de sodio que se disocia en la fase acuosa.

Además, por tener un grado de pureza similar al del exceso de tolueno recolectado, y el de este último es semejante al determinado para el reactivo del LFQ, de la fracción orgánica de las fases tituladas, este puede ser recuperado y posteriormente reutilizado.

**NaOH<sub>acuoso liq-liq</sub>**: se tiene que la concentración de este hidróxido, obtenida mediante la valoración ácido-base con ácido oxálico 1,4100 M es  $(2,02 \pm 0,01)$  M, teniendo una desviación de  $(2 \pm 2)$  % respecto a la concentración del reactivo original y un pH al final de la recolección de  $(13,63 \pm 0,01)$  unidades. Por ser el valor anterior distinto al neutro, es una sustancia que debe ser tratada antes de desecharla.

El resultado del Test de Rosen verifica que la muestra analizada tiene ausencia del núcleo aromático, lo que indica que el titulante hidróxido de sodio acuoso recolectado no ha sido contaminado con el tolueno empleado durante las prácticas.

La conductancia al final de la recolección para este residuo es de  $(21800 \cdot 10^{-5} \pm 1 \cdot 10^{-5})\Omega^{-1}$ , debido principalmente a que es una base fuerte concentrada con gran presencia de iones  $\text{OH}^-$  que tienen alta conductancia iónica.



Este residuo posee características similares a las del reactivo empleado en la práctica de equilibrio líquido-líquido, calificándolo como apto para ser reutilizado.

**NaOH<sub>alcohólico</sub> liq-liq**: los resultados de concentración de la muestra recolectada y el reactivo usado en el laboratorio, son:  $(2,91 \pm 0,01)$  N y 1,0000 N, respectivamente, se tiene un aumento en la concentración que puede ser ocasionada porque el metanol es un compuesto muy volátil, y a pesar de que la recolecta del residuo se lleva a cabo en recipientes cerrados, muchas veces los alumnos no tienen la precaución de tapar debidamente el envase, produciéndose volatilización de este compuesto que puede disminuir el volumen drásticamente en la solución y por ende aumentar la concentración de la misma; además, se debe considerar lo explicado anteriormente para el **NaOH<sub>calorimetría</sub>**, referente a la variación de las concentraciones de las soluciones empleadas en las distintas prácticas ya que provienen de la dilución de una solución madre estandarizada y no se verifica luego la nueva concentración de la preparada.

Es importante mencionar, que aunque este hidróxido es diluido con metanol y este último es un compuesto orgánico, no influye de forma significativa en la conductancia de la solución, cual es  $(4200 \cdot 10^{-5} \pm 1 \cdot 10^{-5})\Omega^{-1}$ , mostrando así que predomina la conductancia de los iones  $\text{OH}^-$ .

Es posible establecer que al igual que el **NaOH<sub>acuoso</sub> liq-liq**, las características del **NaOH<sub>alcohólico</sub> liq-liq**, como conductancia, pH y concentración, lo califican como apto para ser reutilizado.

#### 4.2.1.4. Práctica de conductimetría

Para descartar la presencia de los iones sodio ( $\text{Na}^+$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ) en los residuos generados en esta práctica, se les aplica el ensayo cualitativo a *la llama* para esos cationes. En esta prueba, al someter los metales o sus compuestos, a temperaturas elevadas en una llama muy caliente, la llama adquiere colores brillantes que son característicos de cada metal. Estas llamas coloreadas proporcionan una vía de ensayo cualitativo muy adecuada para detectar estos elementos en mezclas y compuestos, de



acuerdo con el Instituto de Educación Superior Juana de Pimentel. (IES Juana de Pimentel, 2005)

Con la aplicación de dicha prueba a: NaCl, HCl<sub>diluido</sub>, HAC<sub>diluido</sub>, HAC<sub>conductimetría</sub>, HCl<sub>conductimetría</sub> y KCl, se sabe que los iones Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup> no están presentes como contaminantes en estos residuos, donde se supone pudieran estarlo, dado que esta prueba resulta negativa; se corrobora que durante la etapa de recolección los alumnos son cuidadosos al depositar las muestras en los recipientes respectivos.

Los electrolitos utilizados en esta práctica, mantienen la propiedad de conductancia por largo tiempo; pudiendo ser constatado al comparar las mediciones realizadas al finalizar cada semana y en la medición para el volumen total de los residuos recolectados (ver tablas en apéndices A.6 y A.7), donde se puede observar, por ejemplo, que el NaCl recolectado en la segunda semana presenta una conductancia de  $(65 \cdot 10^{-5} \pm 1 \cdot 10^{-5}) \Omega^{-1}$  y al medirla nuevamente al culminar el período de recolección el valor encontrado es de  $(64 \cdot 10^{-5} \pm 1 \cdot 10^{-5}) \Omega^{-1}$ ; por otro lado, el HCl<sub>conductimetría</sub> en la primera semana tiene una conductancia de  $(352 \cdot 10^{-5} \pm 1 \cdot 10^{-5}) \Omega^{-1}$  y al finalizar la recolección de muestras presenta  $(325 \cdot 10^{-5} \pm 1 \cdot 10^{-5}) \Omega^{-1}$ ; aunque también se pueden observar medidas que difieren unas de otras, puede ser a causa de las distintas concentraciones que poseen las soluciones que componen los residuos semanales y por ende el total.

**NaCl:** el pH medido a la solución de NaCl es  $(6,75 \pm 0,01)$  unidades, corroborando con esto sus propiedades de sal neutra.

Los ácidos: HCl<sub>diluido</sub>, HAC<sub>diluido</sub>, HAC<sub>conductimetría</sub>, HCl<sub>conductimetría</sub> registran un pH de:  $(2,73 \pm 0,01)$ ,  $(2,52 \pm 0,01)$ ,  $(0,27 \pm 0,01)$  y  $(2,34 \pm 0,01)$  unidades, respectivamente; aunque no son valores que influyen directamente en el desarrollo de la práctica, sí deben ser tomados en cuenta para su disposición final, que actualmente es el desagüe, siendo estos pH muy bajos para tal disposición, ya que según las MSDS de **Winkler Ltda** para los ácido acético y clorhídrico (ver figuras en apéndices D.7 y D.8), aunque



los residuos químicos de estos compuestos se pueden eliminar a través del desagüe deben ser acondicionados de forma tal de ser inocuos para el medio ambiente.

Las concentraciones de  $\text{HCl}_{\text{diluido}}$ ,  $\text{HAc}_{\text{diluido}}$ ,  $\text{HCl}_{\text{conductimetría}}$ , determinadas por valoración ácido-base son:  $(0,0008 \pm 0,0001)$ ,  $(0,48 \pm 0,01)$  y  $(0,0091 \pm 0,0001)$  N, respectivamente; este último presenta una desviación del  $(8 \pm 2)$  % con respecto a la concentración promedio del reactivo empleado en el laboratorio, que es 0,01N, indicando que esta solución mantiene sus características, aún después de ser recolectada en un período de 9 prácticas, razón por la cual puede ser útil para cualquier otro proceso que lo requiera.

En cuanto al  $\text{HAc}_{\text{conductimetría}}$ , se tiene que la concentración de este es  $(15,48 \pm 0,04)$  N, con una desviación de  $(6 \pm 2)$  %, respecto a la concentración del ácido acético glacial empleado en la práctica, al igual que el  $\text{HAc}_{\text{liq-liq}}$ , a pesar de la diferencia existente entre estas concentraciones, el residuo puede ser recuperado y utilizado nuevamente como si se tratase del reactivo original; además, el índice de refracción del  $\text{HAc}_{\text{conductimetría}}$  es  $(1,371 \pm 0,001)$  adim y al compararlo con el del reactivo del laboratorio resultan iguales.

**KCl:** el pH del KCl es  $(6,70 \pm 0,01)$  unidades, ratificando con esto sus características de sal neutra y además posee una conductancia al final de la recolección de  $(1,069 \cdot 10^{-5} \pm 1 \cdot 10^{-5}) \Omega^{-1}$ , que al ser comparada con las conductancias medidas semanalmente, presenta poca variación (ver tablas en apéndice A.6); significando esto, que mantiene sus características mucho tiempo después de ser recolectada.

#### 4.2.1.5. Práctica de adsorción

**Exceso de ácido oxálico:** el pH de este residuo es  $(1,64 \pm 0,01)$  unidades, siendo un pH muy ácido para ser vertido directamente al desagüe como se realiza actualmente. La concentración obtenida mediante la titulación ácido-base con NaOH 0,5025 M es  $(0,204 \pm 0,003)$  M, la cual difiere de la concentración del reactivo utilizado para realizar la práctica, debido a que las soluciones preparadas cada semestre tienen



concentraciones distintas pero cercanas a 0,15 M, sin embargo, es un residuo que tiene alta pureza de acuerdo con los requerimientos de esta actividad práctica, por lo que puede ser reutilizado en otro proceso que lo requiera.

**Ácido oxálico titulado:** este posee un pH básico de  $(11,94 \pm 0,01)$  unidades, el pH alto se debe al exceso de titulante utilizado por los alumnos al realizar la valoración, quienes por falta de conciencia o una preparación inadecuada de su parte desperdician reactivo; por estar por encima del pH neutro no debe ser desechado por el desagüe sin un tratamiento previo, sin olvidar la fenolftaleína presente.

**Ácido oxálico filtrado:** tiene una concentración de  $(0,0009 \pm 0,0001)$  N y un pH de  $(2,02 \pm 0,01)$  unidades, a pesar de ser una solución muy diluida, mantiene condiciones inadecuadas para ser descargadas por los fregaderos sin un tratamiento previo.

**Ácido oxálico filtrado titulado:** este residuo posee  $(6,89 \pm 0,01)$  unidades de pH, a pesar de que tiene un pH cercano al neutro, no debe ser enviado a las aguas servidas, ya que tiene en su composición la fenolftaleína utilizada como indicador.

**NaOH<sub>adsorción</sub>:** la concentración del hidróxido utilizado para desarrollar la práctica es 0,2550 M y la del residuo obtenida por valoración es  $(0,25 \pm 0,01)$  M. Por otro lado, el pH medido es de  $(13,81 \pm 0,01)$  unidades y presenta a su vez, una conductancia de  $(427 \cdot 10^{-5} \pm 1 \cdot 10^{-5})\Omega^{-1}$ , debida a la alta concentración de iones  $\text{OH}^-$  en la solución, ambos valores indican que el residuo es inapropiado para enviarlo a las aguas servidas.

#### **4.3. Planteamiento de las diferentes alternativas de recuperación, reutilización e inactivación de los residuos**

Inicialmente, se desarrollan los diagramas para el análisis de ciclo cerrado de los residuos puros. Se le denomina cerrado porque se estudian las etapas del manejo de este residuo puro dentro de la misma práctica de la cual proviene. Todos los residuos que presentan características similares a los reactivos que los originan, son recuperados, reutilizados y ninguno requiere ser dispuesto, lo más importante de esto



es que al llegar al último escalón del ciclo, los residuos no son desechados por el desagüe como etapa de disposición final. Tales figuras se encuentran ubicadas de forma respectiva en las propuestas dadas para cada residuo tratado.

#### 4.3.1. Alternativas para la práctica de calorimetría

##### 4.3.1.1. Ácido nítrico titulado ( $\text{HNO}_3$ titulado)

➤ **Minimización:** esta etapa aplica a partir de modificaciones en la metodología de la práctica.

Aunque al prepararse para las evaluaciones previas a las prácticas (interrogatorios, pre-prácticas, etc.) los alumnos averiguan que generalmente el volumen de agua utilizado para el lavado de la bomba es 10 mL, muchas veces emplean una cantidad diferente; esto se observa durante el diagnóstico del manejo actual de los reactivos utilizados en las prácticas experimentales, ya que cuando se lleva a cabo este paso algunos utilizan 10 mL pero otros simplemente no se fijan de dicho volumen, probablemente porque no necesitan ese valor para los cálculos posteriores, lo que trae como consecuencia que un semestre se generen aproximadamente  $(4.320 \pm 270)$  mL de residuo; no obstante, el volumen, además de ser fijado en la metodología, puede ser disminuido a 5 mL, tal como se muestra en la tabla del apéndice E.1.

Lo anterior se comprueba al estimar el volumen generado en un semestre empleando 10 y 5 mL para el lavado de la bomba; ya que al utilizar 10 mL se produce un volumen aproximado de residuo de 1620 mL, tomando en cuenta sólo la combustión del ácido benzoico, mientras que al aplicar los cambios realizados en la metodología, es decir, al emplear 5 mL se obtienen 1080 mL, siendo la diferencia entre ambos casos de 540 mL.

En las estimaciones presentadas en el párrafo anterior, sólo se considera el ácido nítrico proveniente de la combustión del ácido benzoico y no la de la muestra desconocida, ya que el volumen de hidróxido de sodio empleado en las titulaciones de esta última depende de las condiciones particulares de la sustancia empleada, tal como



se puede observar en la tabla del apéndice A.13; además, sin importar que el volumen de agua utilizado para el lavado de la bomba no influya directamente en la cantidad de hidróxido gastado en cada titulación, porque los moles producidos son los mismos, es fundamental fijar en la metodología dicho volumen, porque aunque no se gasta un exceso de reactivo se está generando una mayor cantidad de residuos que contienen fenolftaleína y son enviados al desagüe, y como se dijo anteriormente, resulta perjudicial para el ambiente.

#### ➤ **Recuperación**

Al realizar la titulación del ácido nítrico presente en la bomba calorimétrica, se obtienen como productos finales  $\text{NaNO}_3$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , además de la fenolftaleína utilizada como indicador. Aunque la recuperación del agua es posible mediante un sencillo sistema de una evaporación-condensación, los costos por suministro de energía eléctrica y agua, el tiempo invertido y el volumen recuperado, no la hacen una alternativa viable para la recuperación de la misma, por lo que no se aplica a este residuo un proceso que permita recuperar alguno de los compuestos presentes en él.

#### ➤ **Reutilización**

Debido que no es posible recuperar ninguno de los componentes de esta mezcla, la reutilización parcial o total de esta mezcla no aplica.

#### ➤ **Disposición final**

Mediante este desecho se envían al desagüe compuestos nocivos que tienen efectos adversos en la salud de los seres humanos y algunos animales, como lo es la fenolftaleína, que como ya se mencionó en el diagnóstico del manejo actual de los reactivos, actúa como laxante en las personas e induce en ratones machos y hembras hiperplasia atípica, entre otras cosas.

La fenolftaleína es un colorante orgánico sintético ampliamente utilizado como indicador ácido-base, debido a su cambio de color de incoloro a rosa al reaccionar con los iones hidróxido,  $\text{OH}^-$ , entre pH 8 y 10 (Garcés y Peñuela, 2005); además, por ser un



compuesto químico derivado del fenol se analizan algunos de los tratamientos usados convencionalmente para la remoción de los mismos, entre los que se encuentran: biodegradación, incineración y procesos de oxidación convencionales, pero existen otras tecnologías que permiten lograr una remoción óptima de contaminantes orgánicos, conocidas como TAOs, que se clasifican en *no fotoquímicas* y *fotoquímicas*, de las cuales se estudia el caso particular de la fotocatalisis heterogénea, cuyas condiciones en cuanto al tipo de contaminante, concentración del mismo, reactivos empleados, etc., la hacen una alternativa potencialmente atractiva para tratar el residuo obtenido en el LFQ.

En la *biodegradación*, los microorganismos utilizan los compuestos presentes en el residuo (en este caso la fenolftaleína, cuya fórmula química es  $C_{20}H_{14}O_4$ ) como fuente de carbono y energía, transformándolos en biomasa, gas carbónico y otros intermediarios. (Laguna y Rubiano, 2004)

Por otra parte, la *incineración* permite la destrucción de fenoles y de compuestos aromáticos clorados, mientras que en los *procesos de oxidación tradicionales* el contaminante orgánico, como la fenolftaleína, es transformado por la acción oxidante de determinados reactivos, algunas veces hasta productos inocuos como  $CO_2$  y  $H_2O$  (Laguna y Rubiano, 2004).

Asimismo se considera para la *fotocatalisis heterogénea*, el cual es un proceso fotoquímico que forma parte de las TAOs. Dicha tecnología se basa en una reacción catalítica que involucra la absorción de luz por parte de un semiconductor o catalizador (Laguna y Rubiano, 2004). Debido a la efectividad y a la amplia variedad de casos en los que puede ser empleada esta tecnología, es posible utilizarla en problemas de depuración de agua o aire, siendo la aplicación requerida en el LFQ la eliminación de la fenolftaleína presente en los residuos provenientes de titulaciones ácido-base.

En la tabla 4.3, se muestra la matriz de selección empleada para obtener la mejor alternativa que permita disponer adecuadamente este residuo, así como también las



ponderaciones y las calificaciones dadas a cada uno de los factores analizados para realizar dicha selección.

**Tabla 4.3. Matriz para la selección de la alternativa que permita disponer adecuadamente la fenoltaleína presente en el HNO<sub>3</sub> titulado**

Factor	Peso	Incineración		Biodegradación		Procesos de oxidación convencionales		TAOs (Fotocatálisis Heterogénea)	
		Cal.	Pond.	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.
<b>Condiciones de operación</b>	0,20	4	0,80	4	0,80	4	0,80	7	1,40
<b>Formación de subproductos</b>	0,25	3	0,75	3	0,75	4	1,00	9	2,25
<b>Disponibilidad de instalaciones y equipos</b>	0,25	1	0,25	7	1,75	1	0,25	7	1,75
<b>Costos</b>	0,30	2	0,60	7	2,10	3	0,90	8	2,40
<b>Totales</b>	1,00		2,40		5,40		2,95		<b>7,80</b>

Donde:

Cal.: Calificación

Pond.: Ponderación

**Nota:** la escala de la calificación va desde 1 al 10, donde el 1 indica que la opción en estudio presenta características poco favorables respecto al factor considerado, y el 10 que tiene las mejores cualidades.

➤ Tomando en cuenta las **condiciones de operación** según la EPA (Environment Protection Agency) necesarias para llevar a cabo la **incineración** de fenoles, se tiene que se exige 1600°C como temperatura de operación para este proceso. Por otro lado en los procesos de **biodegradación** debido a la toxicidad relativa de la fenoltaleína, este puede ser gravemente afectado, inhibiendo el crecimiento microbiano o convirtiéndose en biocida.



En cuanto a los **procesos de oxidación convencionales** las condiciones pueden variar según sea el tratamiento aplicado, pero debido a la manipulación de los reactivos involucrados (ozono, hipocloritos, permanganatos, y algunas combinaciones de estos), estos procesos exigen un control particularmente cuidadoso; en el caso de la **fotocatálisis heterogénea** en comparación con los métodos antes descritos no presenta las dificultades mencionadas, pues se lleva a cabo a temperatura ambiente y no requiere de mayor control al manipular los reactivos empleados; es por ello que a esta última se le asigna una calificación de siete (7), mientras que al resto de los métodos en estudio una calificación de cuatro (4) (ver tabla 4.3).

➤ La **formación de subproductos** es un factor muy importante a tomar en cuenta, ya que dependiendo de las características de los mismos se genera otro tipo de contaminación al ambiente y que generalmente requiere un tratamiento posterior; tal es el caso de la biodegradación, en la que se obtienen efluentes que poseen propiedades indeseables en cuanto a turbiedad, color y un lodo al que debe dársele una adecuada disposición, razón por la cual el valor de la calificación asignada es igual a tres (3); en la incineración se producen algunos subproductos debido a la combustión incompleta del contaminante y como ya se dijo anteriormente, mediante la oxidación tradicional no se logra la remoción total del mismo, por lo que se deben establecer tratamientos posteriores, siendo las puntuaciones dadas a estos tratamientos, tres (3) y cuatro (4), respectivamente; mientras que mediante la oxidación fotocatalítica de residuos provenientes de laboratorios de análisis químicos, se logra la oxidación total de los compuestos a  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y en algunos casos hasta ácidos minerales inocuos al medio ambiente (Mera, s. f.), asignándole por tal motivo una calificación de nueve (9), siendo la mayor puntuación dada al considerar este factor.

➤ Al considerar la **disponibilidad de las instalaciones y equipos**, se encuentra que en el LFQ no se cuenta con las instalaciones ni equipos necesarios para llevar a cabo la incineración de los residuos, por lo que es preciso solicitar los servicios de una empresa incineradora de residuos tóxicos, tales como *EVERGREEN*, ubicada en el estado Anzoátegui o *AMBIOMED*, C. A. en Barquisimeto, estado Lara.



Analizando la disponibilidad de las instalaciones y equipos para llevar a cabo la biodegradación de la fenolftaleína, es posible notar que el LFQ no tiene todas las condiciones, materiales y equipos necesarios para realizar este procedimiento (tales como: los microorganismos necesarios, un espacio físico acondicionado, entre otros), aún así se le asigna una puntuación de siete (7), ya que se toma en cuenta un factor muy importante para seleccionar la mejor alternativa para este residuo, el cual es el conocimiento de que en las instalaciones del *Centro de Investigaciones Microbiológicas Aplicadas* (CIMA-UC), ubicado dentro de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería y a pocos metros del LFQ, realizan biodegradaciones de compuestos fenólicos con buenos resultados y costos relativamente bajos.

Aunque los materiales, equipos y reactivos necesarios para realizar la fotocatalisis heterogénea no están disponibles en el LFQ, se le da una calificación de siete (7) puntos, ya que son de fácil adquisición y de bajo costo, y que pueden ser encontrados en ferreterías, farmacias, centros distribuidores de productos químicos, entre otros.

- Respecto a los **costos** de cada una de las alternativas planteadas, tal como se observa en la tabla 4.3, a la incineración se le asigna una puntuación igual a dos (2), mientras que a la biodegradación se le da una calificación igual a siete (7), debido a que al llevar a cabo la incineración el costo sería elevado, ya que el LFQ al no poseer las instalaciones y equipos requeridos para ello debe solicitar un servicio externo, que incrementa sus costos al considerar el traslado de los residuos; en cuanto a la biodegradación es sabido que en las instalaciones de la facultad de ingeniería se encuentra ubicado el CIMA-UC que realiza biodegradaciones de compuestos fenólicos y que por tratarse de un ente perteneciente a la Universidad de Carabobo los costos disminuyen considerablemente.

Debido que en los procesos de oxidación convencionales se utilizan generalmente reactivos como ozono, hipocloritos, permanganatos, entre otros, estos métodos son generalmente costosos por la demanda de reactivos y el control que el proceso requiere por la manipulación de los mismos; caso contrario a la fotocatalisis heterogénea, donde



los reactivos empleados y los equipos necesarios para su implementación son de fácil adquisición.

Considerando el análisis realizado para cada alternativa planteada y luego de asignarle una calificación a los criterios utilizados para llevar a cabo la selección, se tiene que la oxidación fotocatalítica tuvo mayor puntaje en los factores de: condiciones de operación, formación de subproductos y costos, obteniendo una ponderación de 7,80, por lo es la mejor opción para tratar la fenolftaleína presente en el  $\text{HNO}_3$  titulado proveniente de la práctica de calorimetría (ver tabla 4.3).

#### **4.3.1.2. Exceso de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}_{\text{calorimetría}}$ )**

##### **➤ Minimización**

Debido que uno de los objetivos de esta práctica es determinar el calor de combustión de una sustancia problema, resulta difícil establecer el volumen aproximado de  $\text{NaOH}$  que se puede gastar en las titulaciones, porque aún cuando se generan los mismos compuestos durante la combustión, los moles formados de ácido nítrico varían dependiendo de las condiciones particulares de cada experimento para las diferentes muestras utilizadas, lo que conlleva a que se gaste más o menos hidróxido en las diferentes valoraciones; por ello no es posible minimizar el volumen producido de este residuo.

##### **➤ Recuperación**

Aunque no es posible minimizar de forma significativa la generación de este residuo, el volumen en exceso se puede recolectar a lo largo de todas las prácticas y ser almacenado en un mismo recipiente, y al finalizar el semestre ser estandarizado mediante una titulación ácido-base.

##### **➤ Reutilización**

El hidróxido empleado en la práctica de calorimetría tiene una concentración de hasta 12 veces menor que el hidróxido menos concentrado usado en el LFQ después de él,



por lo que no es conveniente utilizarlo en otras valoraciones o prácticas del mismo laboratorio, y dentro de los desarrollos experimentales realizados en el LQA y LQO no se utiliza este reactivo con una concentración cercana, por lo que lo más conveniente es reutilizarlo en la misma práctica.

Por otro lado, se tiene que durante el tiempo de recolección de muestras se obtiene un volumen de  $(315 \pm 45)$  mL, por lo que al estimar lo que se recolectaría en un semestre se obtienen  $(1.890 \pm 270)$  mL que como se muestra en la tabla 4.4, podrían ser reutilizados en aproximadamente 62 prácticas, con lo cual se puede cubrir un (1) semestre completo y parte de otro, en las que no será necesario preparar este reactivo.

**Tabla 4.4. Número de prácticas en las que puede ser reutilizado el  $\text{NaOH}_{\text{calorimetría}}$  recuperado**

<b>Volumen a recolectar en un semestre (<math>V_{\text{semestre}} \pm 270</math>) mL</b>	<b>Volumen promedio de NaOH gastado por práctica (<math>V_{\text{ppp}}</math>) mL</b>	<b>Número de práctica que se pueden realizar (<math>N^{\circ}</math> prácticas) adim</b>
1.890	30,2	62

El volumen de hidróxido de sodio gastado en promedio por práctica es el resultado de los volúmenes empleados en cada titulación por los estudiantes, a los cuales se les ha solicitado dicha información al finalizar la práctica (ver tabla en apéndice A.13).

Es importante señalar que este residuo debe ser considerado como si se tratase del reactivo original, por lo que durante la etapa de almacenamiento se debe mantener en recipientes herméticos que no permitan el contacto con el medio ambiente, ya que entre otras cosas, los iones  $\text{Na}^+$  pueden reaccionar con el  $\text{CO}_2$  del aire y formar carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), disminuyendo así la concentración de la solución.

### ➤ Disposición final

Con la recolección de este residuo en las prácticas de calorimetría a lo largo de todo el semestre, el almacenamiento temporal y su reutilización en la misma práctica, se evita desecharlo porque siempre tendrá un uso definido y por ende no es necesario disponerlo correctamente.

En la figura 4.18 se muestran de forma sintetizada las etapas de manejo antes mencionadas del residuo  $\text{NaOH}_{\text{calorimetría}}$ .

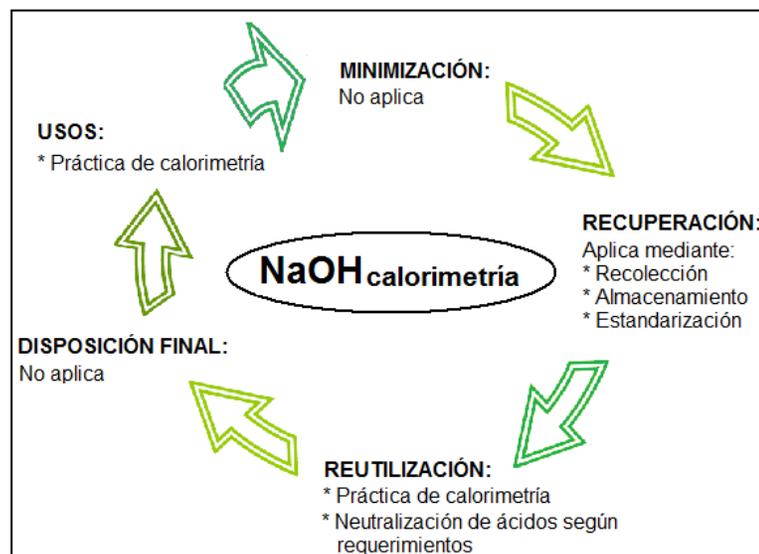


Figura 4.18. Etapas del manejo de  $\text{NaOH}_{\text{calorimetría}}$  aplicando un análisis de ciclo cerrado

### 4.3.1.3. Agua de enfriamiento

#### ➤ Minimización

No es posible minimizar el volumen de agua utilizado para el enfriamiento del calorímetro, porque sólo se emplea agua durante el proceso de ignición, el cual se realiza cuatro (4) veces por cada práctica y durante un breve instante de tiempo, por lo que la cantidad generada al finalizar la experiencia es insuficiente como para evaluar la viabilidad de una alternativa para su minimización.



➤ **Recuperación**

Considerando el volumen de agua generado por práctica, no es viable plantear una alternativa para recuperar la misma.

➤ **Reutilización**

Al no aplicar la recuperación de este residuo no aplica la reutilización del mismo.

➤ **Disposición final**

Este residuo puede ser vertido directamente al desagüe, porque el volumen desechado es muy poco y no presenta características peligrosas que resulten tóxicas para el ambiente.

### **4.3.2. Alternativas para la práctica de equilibrio líquido-vapor**

#### **4.3.2.1. Exceso de n-hexano y exceso de etanol**

➤ **Minimización**

Para disminuir la generación de estos residuos, se fija el volumen de total de etanol y n-hexano que los alumnos deben utilizar por práctica; siendo para el etanol 110 mL que se distribuyen de la siguiente manera:

- 30 mL para la alimentación del calderín.
- 55 mL para la realización de la curva de calibración.
- 15 mL empleados durante la destilación.
- 10 mL para garantizar que no se succionará aire con las pipetas.

Y para el n-hexano 95 mL, que quedan distribuidos así:

- 30 mL para la alimentación del calderín.
- 55 mL para la realización de la curva de calibración.
- 10 mL para garantizar que no se succionará aire con las pipetas.



Una vez establecido el volumen a utilizar por práctica, se deben colocar en la campana extractora dos recipientes que contengan exactamente esos volúmenes y que tengan una marca que indique la altura de los mismos, para llenarlos siempre hasta esa marca sin necesidad de realizar las mediciones correspondientes y se retira del lugar el recipiente que contiene el reactivo actualmente utilizado.

Al disponer recipientes con los volúmenes aproximados de n-hexano y etanol que se utilizan por práctica, se evita que los alumnos tomen una cantidad excesiva en beakers y que por ende se generen más residuos, porque aunque estos no son enviados al desagüe, se recolecten en recipientes identificados como “etanol recuperado” y “n-hexano recuperado” y tengan un tratamiento posterior, se están utilizando volúmenes de estos reactivos que pueden ser empleados en las prácticas subsiguientes.

Esta medida se toma porque es muy difícil crear conciencia en las personas, es decir, se pueden dar instrucciones o recomendaciones pero la mayoría de los alumnos no comenzará a economizar los reactivos, pues la costumbre de tomar grandes cantidades de estos está muy arraigada y no se puede cambiar tan rápido como se desea.

Es necesario plasmar estos cambios en la metodología, aunque no influyen en la forma de realizar la misma y en este caso basta con saber que el volumen establecido es suficiente para realizar la práctica, sin solicitar volúmenes extras de reactivos; las modificaciones efectuadas en la metodología, así como las razones que conllevaron a ello, deben ser del conocimiento de los estudiantes para contribuir con ello a la toma de conciencia de los mismos.

#### ➤ **Recuperación**

La recuperación de estos residuos está contenida de forma implícita en la minimización de los mismos, puesto que al disponer de un recipiente que contiene un volumen de los reactivos muy cercano al utilizado en la práctica, al finalizar esta será poca la cantidad que quede en exceso y con el simple hecho de mantenerlos allí para luego completar el volumen establecido ya están siendo recuperados.



### ➤ Reutilización

Al igual que en la etapa de recuperación, la reutilización del *n-hexano* se encuentra implícita en la minimización del mismo, ya que al completar el volumen de reactivo fijado y usarlo en la siguiente práctica, este será continuamente reutilizado en la misma.

A diferencia del *n-hexano*, el *etanol* es un reactivo empleado en algunas prácticas experimentales desarrolladas en el LQO, por lo que se plantean dos alternativas para su reutilización: reusarlo de forma continua en la práctica de equilibrio líquido-vapor o enviarlo al LQO para ser utilizado en las prácticas de: *identificación de compuestos orgánicos*, *preparación de un producto de condensación* y en la de *polímeros de adición y condensación*.

**Tabla 4.5. Matriz para la selección de la alternativa más adecuada para reutilizar el exceso de etanol**

Factor	Peso	Práctica líquido-vapor		Enviar al LQO	
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Almacenamiento temporal	0,30	10	3,00	5	1,50
Caracterización	0,25	10	2,50	7	1,75
Traslado	0,20	10	2,00	8	1,60
Tiempo invertido	0,25	10	2,50	6	1,50
Totales	1,00		<b>10,00</b>		6,35

En cuanto a las alternativas planteadas para la reutilización del *etanol*, se tiene que lo mejor es darle el mismo uso dado al *n-hexano*, que contempla el empleo continuo en la práctica de equilibrio líquido-vapor, tal como se muestra en la matriz de selección aplicada para tomar una decisión (ver tabla 4.5), en lugar de enviarlo al LQO para que se reutilice en las prácticas en las cuales es empleado como reactivo; entre los factores considerados para realizar la selección se encuentra el **traslado** del residuo, al cual se le asigna una calificación de diez (10) al tomar en cuenta la reutilización en el LQO ya



que el etanol no requiere ser trasladado, mientras que para darle un uso en el LQO se debe tener en cuenta el traslado y la aceptación del mismo, por lo que se asigna una puntuación de seis (6).

Otro criterio de decisión tomado en cuenta para realizar la selección es el **almacenamiento temporal** de los residuos; este factor no aplica al reusar el etanol en la práctica de equilibrio líquido-vapor del LFQ, pues al finalizar cada práctica sólo se debe llenar el recipiente hasta el volumen previamente establecido y la cantidad de residuo que se había generado pasa a formar parte del nuevo reactivo a utilizar en la siguiente práctica, por lo cual se le asigna una calificación de diez (10) puntos. Por el contrario, al evaluar la opción de colocarlo a disposición del LQO se tiene que el excedente generado en todas las prácticas se debe recolectar al finalizar cada una de ellas y luego almacenarlo en un recipiente adecuado hasta culminar el semestre o tener una cantidad suficiente para su traslado.

Al ser reutilizado continuamente en el desarrollo experimental del cual proviene, el exceso de etanol no requiere ser **caracterizado**, razón por la cual se le coloca una puntuación de diez (10), mientras que para ser enviado al LQO deben realizarse análisis fisicoquímicos que permitan determinar sus características, a fin de evitar que algún posible contaminante interfiera en los resultados obtenidos en las prácticas en las que puede ser reutilizado, y aún más importante son valores necesarios al momento de ser aceptado por dicho laboratorio, por lo que la calificación asignada es igual siete (7).

Por otro lado, el **tiempo invertido** para implementar la reutilización del exceso de etanol en el LQO es mayor al efectuar su reuso en el LFQ, ya que en el primer caso, el residuo debe ser almacenado temporalmente, caracterizado y posteriormente trasladado, obteniendo por ello una calificación de seis (6).

Por todo lo dicho anteriormente y con una calificación final de diez (10), la mejor alternativa para el exceso de etanol es reutilizarlo en la misma práctica; pero no se debe hacer totalmente a un lado la posibilidad de compartir los residuos generados con otros

laboratorios donde le puedan dar un mejor uso, y se debe tener en cuenta que en esta alternativa se consideran varios factores que permiten crear o modificar la metodología aplicada actualmente por la facultad y la universidad en general, en cuanto a los residuos generados en los laboratorios, pues abre las puertas para tratar, reutilizar y disponer estos adecuadamente si todos trabajan en conjunto.

Aunque en el caso del exceso de etanol esta no es la mejor alternativa, no se puede descartar la posibilidad de crear a posterior en un futuro cercano la **bolsa de residuos** entre los laboratorios de la Facultad de Ingeniería.

### ➤ Disposición final

La reutilización continua en la misma práctica presenta la ventaja de no generar residuos al final del ciclo, por lo que no es necesario prever una disposición final para estos.

Al unir de forma secuencial la minimización, recuperación, reutilización y disposición final para el n-hexano, se obtiene el diagrama de ciclo cerrado mostrado en la figura 4.19; aunque para el etanol se plantea una alternativa adicional para la reutilización, se selecciona el reuso en el LFQ con lo que se obtiene un tratamiento similar al n-hexano para cada una de las etapas de manejo, por lo que se combinan en un mismo diagrama.

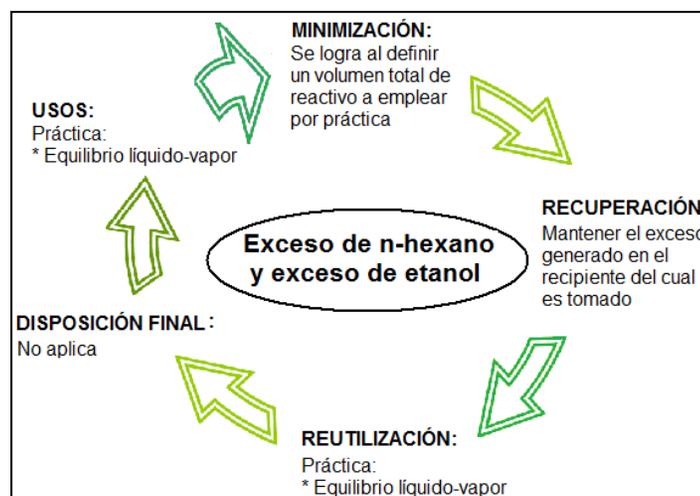


Figura 4.19. Etapas del manejo del exceso de n-hexano y del exceso de etanol aplicando un análisis de ciclo cerrado



En la figura 4.19, se observa que la minimización de estos residuos es posible a través de la definición de un volumen total de reactivo a emplear en toda la práctica y al finalizar la experiencia, recuperar el excedente manteniéndolo en su recipiente y completando el volumen previamente fijado, para finalmente reutilizarlos en la misma práctica.

#### 4.3.2.2. N-hexano-etanol (calibración)

##### ➤ Minimización

En cuanto a los cambios a realizar en la metodología de la práctica, se deben a que actualmente durante la misma se emplean aproximadamente 20 mL de etanol (10 mL para medir el índice de refracción al reactivo puro para elaborar la curva de calibración y alrededor de 10 mL para el lavado del calderín) que pueden ser reducidos a la mitad, ya que al elaborar la curva ese volumen de etanol se mezcla con n-hexano y se deposita en un recipiente identificado como “mezcla recuperada”, en lugar de ser reutilizado para el lavado del calderín; al aplicar esto se reducen aproximadamente 540 mL en todo un semestre, que aunque parece poco con él se pueden realizar 4 prácticas completas. En la tabla del apéndice E.1 se muestran detalladamente los cambios realizados en esta metodología.

El n-hexano puro utilizado para realizar la curva de calibración debe ser devuelto al envase del cual fue tomada, porque en ella se tienen aproximadamente 10 mL, que no deberán ser repuestos para completar el volumen de 95 mL establecido en el recipiente.

Al igual que los cambios realizados para el exceso de n-hexano y exceso de etanol, estos deben quedar plasmados en la metodología porque influyen directamente en la misma; además también sirve para que inicialmente la minimización de este residuo y del gasto de los reactivos sea una obligación para los estudiantes, dado lo difícil que es modificar las costumbres que ellos traen; sin embargo, el personal del laboratorio (profesores, técnico, preparadores) no deben dejar de informarles las razones que llevaron a tomar esas medidas a fin de concientizar la población estudiantil del LFQ.



### ➤ **Recuperación**

Actualmente la recuperación de este residuo se realiza mediante su recolección, almacenamiento y posterior aplicación de una destilación por etapas, en la que luego de introducir un volumen de 500 mL de mezcla se obtienen aproximadamente 200 mL de n-hexano con un alto grado de pureza, el cual es reutilizado nuevamente en la misma práctica como si se tratase del n-hexano grado reactivo y la mezcla resultante en el calderín es utilizada como solvente para limpiar los prismas del refractómetro y para la limpieza del termómetro empleado en la práctica de equilibrio sólido-líquido.

Aún cuando existen diversas opciones que permiten recuperar ambos compuestos de forma individual, como son: la destilación azeotrópica, destilación extractiva con solventes y la destilación extractiva con sales, para implementar cualquiera de ellas se requieren materiales, equipos y reactivos que acarrear muchos costos adicionales; mientras que el sistema de recuperación llevado a cabo en la actualidad, aunque no permite romper o desplazar el azeótropo para obtener un mejor grado de separación, los productos obtenidos tienen una utilidad definida y una adecuada disposición final, por lo que no se hace imprescindible la implementación de un nuevo sistema.

### ➤ **Reutilización**

Al no llevar a cabo un tratamiento que permita separar ambos compuestos y aplicar la recuperación mediante una destilación por etapas, se obtiene el n-hexano con un alto grado de pureza y una mezcla de composición azeotrópica; el primero puede ser reutilizado como reactivo en la misma práctica y la mezcla como solvente de limpieza para los prismas del refractómetro empleado en esa práctica y en la de equilibrio sólido-líquido para la limpieza del termómetro usado en ella.

### ➤ **Disposición final**

Al completar la etapa de reutilización no se generan otros residuos, por lo que la disposición final adecuada para esta mezcla ya está garantizada.



#### 4.3.2.3. Mezcla recuperada

##### ➤ **Minimización**

La minimización de este residuo no es posible mediante cambios en la metodología, debido que los volúmenes de n-hexano y etanol empleados en la práctica son apropiados para dar cumplimiento a los objetivos de la misma.

##### ➤ **Recuperación**

En la actualidad este residuo es combinado con la mezcla n-hexano-etanol (calibración) y tratados simultáneamente, y se pueden seguir tratando juntos, pero antes se le debe aplicar a este un tratamiento físico, como la separación mediante un embudo de decantación, para remover la vaselina que lo contamina y que proviene de la lubricación de las uniones esmeriladas de las piezas de vidrio que constituyen el equipo utilizado para vaporizar y condensar líquidos hasta el equilibrio, empleado para realizar la práctica, utilizando para dicho tratamiento un baño frigorífico para enfriar el embudo y lograr una mejor separación; ya que al quedar presente restos de vaselina en las mezclas utilizadas como solventes de limpieza, puede interferir en los resultados de esas prácticas, como por ejemplo, en la medida del índice de refracción.

##### ➤ **Reutilización**

Una vez aplicada la decantación para separar la vaselina presente en este residuo, se puede combinar con la mezcla de n-hexano-etanol (calibración), para así obtener por destilación n-hexano casi puro y una mezcla de composición azeotrópica al tratarlos conjuntamente mediante la destilación por etapas, los cuales pueden ser utilizados en las prácticas de equilibrio líquido-vapor y equilibrio sólido-líquido.

##### ➤ **Disposición final**

Al finalizar la reutilización de este residuo se cierra el ciclo, ya que no se generan residuos a los cuales deba dárseles una disposición final adecuada.

#### 4.3.2.4. Agua de enfriamiento

##### ➤ Minimización

Es posible minimizar el agua empleada para el enfriamiento del refractómetro y la utilizada en el condensador del sistema de destilación, porque aún cuando es fundamental tenerlas durante toda la práctica para garantizar el correcto funcionamiento del refractómetro y para lograr una adecuada condensación total del líquido vaporizado en el calderín del equipo, se puede definir un volumen que permita lograr los objetivos planteados minimizando con ello la cantidad actualmente generada.

Esta propuesta consiste en implementar un sistema de recirculación continuo del agua utilizada durante la práctica, para lo cual se deben colocar dos (2) bidones cilíndricos de 40 L de capacidad, semejantes a los empleados en el LFQ para el agua destilada, debajo de la campana extractora donde se realiza la práctica de equilibrio líquido-vapor, dichos recipientes deben estar unidos a la succión de una bomba peristáltica y la descarga de esta se conecta a una manguera que permita la entrada del agua de enfriamiento al refractómetro y al condensador, como se puede observar al seguir la línea amarilla de la figura 4.20, en esta figura, la línea azul indica el retorno a los bidones del agua proveniente del refractómetro y la roja el regreso del agua empleada en el condensador.

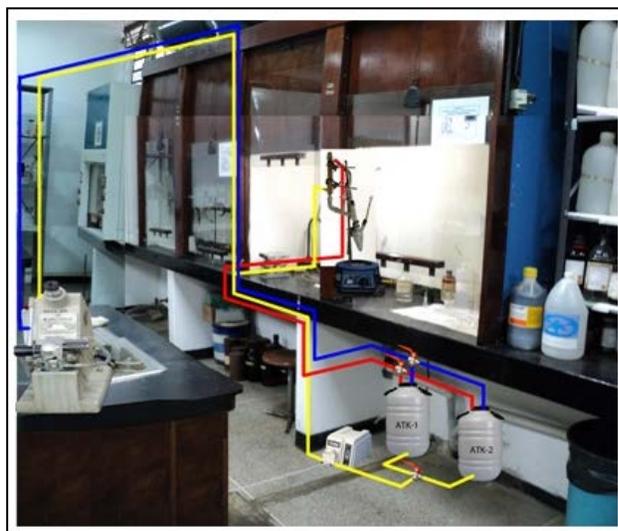


Figura 4.20. Sistema de recirculación continuo del agua de enfriamiento utilizada en la práctica de equilibrio líquido-vapor

En este sistema se emplea una bomba peristáltica (figura 4.21), debido que con ella la velocidad de bombeo puede ser tan lenta como el proceso lo requiera, siendo este caso en particular, un sistema donde no se necesita transportar el fluido a grandes distancias o velocidades, además, por su diseño y funcionamiento, el agua no entra en contacto con partes internas de la bomba, que pudieran ensuciarla y afectar de alguna forma el correcto funcionamiento del refractómetro.



Figura 4.21. Bomba peristáltica

Para implementar el sistema también se utiliza un soporte aéreo que permita llevar y traer las mangueras que están conectadas al refractómetro (ver figura 4.20), el cual está compuesto por tuberías de acero galvanizado de  $\frac{1}{2}$ " para garantizar su durabilidad, y que va desde la campana extractora al mesón que se encuentra frente a ella; la unión del sistema con el refractómetro puede realizarse a ras del piso, pero para ello debe crearse un canal para las mangueras, a fin de no permitir que el personal que transita en el laboratorio las maltrate, aún así, estarían expuestas a todas las condiciones que se encuentran en el ambiente del LFQ (reactivos derramados, químicos de limpieza, entre otros).

Se requieren además, tres (3) válvulas tres vías, para facilitar el manejo del sistema a los estudiantes, y con esto evitar el uso de múltiples accesorios que compliquen su uso y aceleren su deterioro.



Como se indica en la metodología (ver tabla en apéndice E.1), el agua contenida en ATNK-1 debe ser utilizada durante la primera hora de la práctica, después de la cual se comienza a utilizar la contenida en el ATNK-2, esto para evitar que el fluido se caliente y deje de realizar la transferencia de calor necesaria para el correcto funcionamiento del condensador y el refractómetro; logrando además, que el agua del primer envase se encuentre a una temperatura adecuada para realizar la siguiente práctica, si la primera es realizada en horas de la mañana. Al finalizar la semana el agua contenida en ambos recipientes se envía al desagüe, se llenan los envases y se inicia el ciclo nuevamente.

Considerando la cantidad de agua necesaria para llenar el condensador, y el diámetro y la longitud de las mangueras a emplear, se tiene que se van a recircular de forma continua por el interior del sistema, 1.625 mL de agua aproximadamente, tal como se demuestra en el cálculo realizado en el apéndice B.11, por lo que el volumen requerido puede ser fijado en aproximadamente 60 L por semana, distribuidos equitativamente entre los dos bidones, es decir, dichos recipientes se deben llenar hasta el 75 % de su capacidad. Con este volumen se garantiza el correcto funcionamiento del sistema y se evita que el fluido deje de realizar el enfriamiento necesario en los equipos involucrados.

### ➤ **Recuperación**

Como se dijo en la minimización, la recuperación del volumen de agua previamente fijada para el enfriamiento del refractómetro y del condensador se recolecta en dos (2) bidones de 40 L de capacidad; actualmente se envía esta agua al desagüe sin ser aprovechada de manera alguna, siendo el volumen generado por práctica un estimado de  $(429 \pm 13)$  L, que al terminar el semestre se convierten en un promedio de  $(23.166 \pm 702)$  L (ver cálculo en apéndice B.12), estos son valores aproximados ya que dependen del flujo de agua fijado en cada desarrollo experimental por la apertura de la llave del grifo.



### ➤ **Reutilización**

La mejor alternativa para la reutilización de esta agua es emplearla en la misma práctica mediante la creación de un sistema de recirculación con bombeo que funcione durante todo el desarrollo experimental, ya que al ser reutilizada de forma continua y desecharla semanalmente se producirían en un semestre 360 L, representando una disminución de  $(98,45 \pm 0,05)$  % respecto al volumen actual generado.

### ➤ **Disposición final**

Igual que el agua de enfriamiento de calorimetría este residuo puede ser vertido directamente al desagüe, porque el volumen se habrá disminuido en aproximadamente 98 % y no presenta características peligrosas que resulten tóxicas para el ambiente.

## **4.3.3. Alternativas para la práctica de equilibrio líquido-líquido**

### **4.3.3.1. Exceso de ácido acético ( $\text{HAc}_{\text{liq-liq}}$ )**

#### ➤ **Minimización**

El primer paso para lograr la minimización de este residuo es establecer de forma clara en la metodología la concentración en % p/p de ácido acético a la cual deben prepararse las soluciones binarias ácido acético-agua y ácido acético-tolueno, para así poder estimar el volumen de cada reactivo necesario para preparar dichas soluciones, sin facilitarles el trabajo a los estudiantes, pues deberán de igual manera realizar el cálculo previo de los volúmenes requeridos como lo hacen actualmente.

El volumen de  $\text{HAc}_{\text{liq-liq}}$  necesario para completar la práctica es de 57,2 mL, este contabiliza la cantidad necesaria para la preparación de las soluciones, el curado de la bureta y el volumen que queda en la punta de la misma y que se no emplea en la práctica (ver tabla 4.6).



**Tabla 4.6. Estimación del volumen de ácido acético necesario para realizar la práctica de equilibrio líquido-líquido**

<b>Volumen para preparar las soluciones (<math>V_{sol}</math>) mL</b>	<b>Volumen que queda en la punta de la bureta (<math>V_{curado\ b}</math>) mL</b>	<b>Volumen aprox. para curar la bureta (<math>V_{punta\ b}</math>) mL</b>	<b>Volumen total para realizar la práctica (<math>V_{reactivo}</math>) mL</b>
52,3	2,9	2	57,2

Todo esto conlleva a colocar para cada práctica un recipiente con un volumen de ácido acético prefijado e indicado visualmente, que permita realizar la misma sin que los alumnos se excedan en la cantidad tomada para ello.

➤ **Recuperación**

La recuperación de este residuo se inicia al finalizar cada práctica, ya que el exceso restante en el recipiente no debe ser desechado, sino que se debe completar en dicho envase el volumen establecido para realizar la práctica; este procedimiento debe ser llevado a cabo por el técnico del LFQ o los preparadores de la cátedra.

➤ **Reutilización**

Al completar el volumen establecido en el recipiente para cada práctica y emplearlo en la siguiente, se cumple con la etapa de reutilización del reactivo que queda luego de aplicar la minimización.

➤ **Disposición final**

Con la minimización, recuperación y posterior reutilización de este residuo en la misma práctica, se establece un ciclo cerrado que no permite la producción de residuos a los que deba aplicárseles una adecuada disposición (ver figura 4.22).

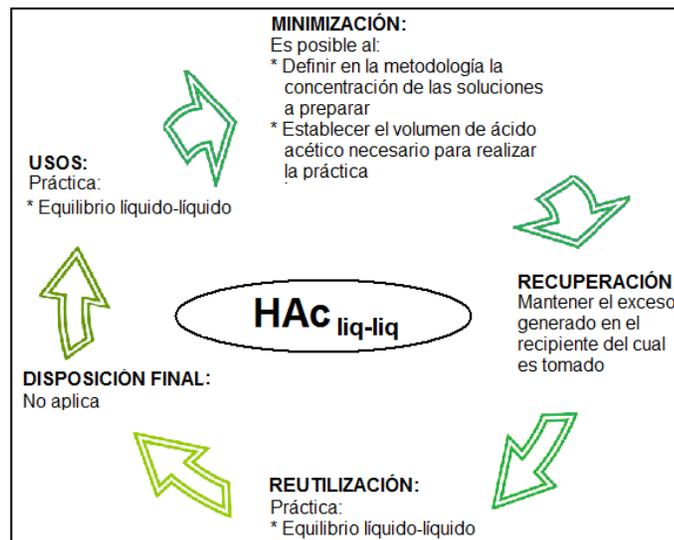


Figura 4.22. Etapas del manejo del HAc liq-liq aplicando un análisis de ciclo cerrado

#### 4.3.3.2. Exceso de tolueno

##### ➤ Minimización

Al establecer en la metodología la concentración en % p/p de ácido acético a la cual deben prepararse las mezclas binarias y calcular luego los volúmenes respectivos del mismo, se determinan de forma indirecta los volúmenes de tolueno necesarios para preparar las soluciones de ácido acético-tolueno; y con estos valores: la cantidad requerida para el curado de la bureta, el volumen que queda en la punta de la misma y el aproximado para alcanzar el punto de turbidez de las soluciones ácido acético-agua (ver tabla 4.7), se tiene que el volumen total aproximado de tolueno necesario para realizar la práctica es de 61,7 mL, el cual está sujeto al cabal cumplimiento de las recomendaciones o modificaciones propuestas.

**Tabla 4.7. Estimación del volumen de tolueno necesario de para realizar la práctica de equilibrio líquido-líquido**

Volumen para preparar las soluciones ( $V_{sol}$ ) mL	Volumen que queda en la punta de la bureta ( $V_{punta\ b}$ ) mL	Volumen aprox. para curar la bureta ( $V_{curado\ b}$ ) mL	Volumen para alcanzar el punto de turbidez ( $V_{turbidez}$ ) mL	Volumen total para realizar la práctica ( $V_{reactivo}$ ) mL
55,0	2,3	2	2,4	61,7



Es importante señalar, que el volumen promedio aproximado para lograr el punto de turbidez de las mezclas, es obtenido de la información solicitada a los estudiantes una vez que finalizaban sus experiencias prácticas; en la adición de este volumen existe mucha variación, ya que depende principalmente de la capacidad de los estudiantes para detectar dicho punto y de la concentración previamente establecida (ver tabla en apéndice A.15).

Al igual que para  $\text{HAc}_{\text{liq-liq}}$ , la minimización de este residuo consiste en colocar en el lugar de trabajo un recipiente que contenga el volumen de tolueno a utilizar por práctica definido con anterioridad.

Cabe destacar que, si por alguna razón los alumnos requieren de un volumen adicional tanto de tolueno como de otros reactivos cuyos volúmenes han sido minimizados, no se les debe proporcionar aún cuando no puedan lograr los objetivos de la práctica, ya que deben aprender cuales son las consecuencias del gasto excesivo de reactivos y las de la generación de residuos.

#### ➤ **Recuperación**

Debido que el volumen total para realizar la práctica ya está establecido, para este residuo aplica el mismo procedimiento planteado para la recuperación del  $\text{HAc}_{\text{liq-liq}}$ , por lo que al finalizar la misma el volumen sólo debe ser completado en el envase identificado, garantizando así que el excedente no sea desechado.

#### ➤ **Reutilización**

Al implementar la minimización, queda luego de cada práctica una pequeña de cantidad de reactivo que es empleado en la siguiente, con lo que se logra la reutilización del reactivo excedente.

#### ➤ **Disposición final**

Al igual que la disposición final del  $\text{HAc}_{\text{liq-liq}}$ , con la reutilización se cierra un ciclo que evita se siga generando este residuo, tal como se muestra en la figura 4.23.

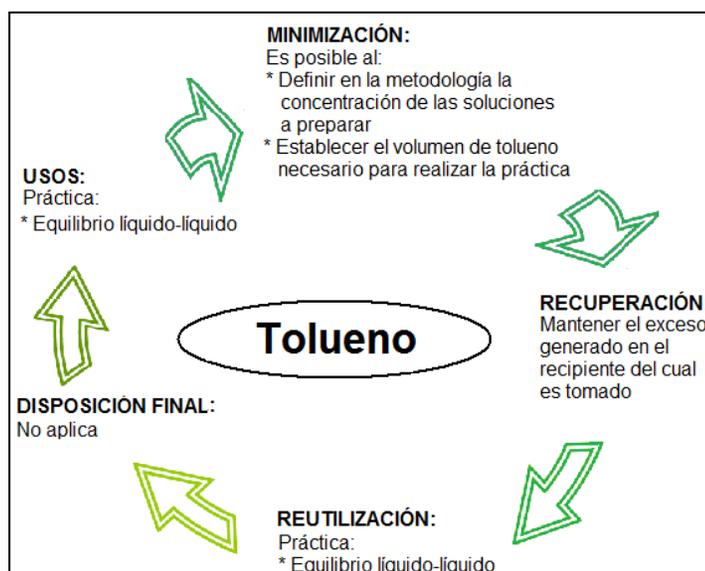


Figura 4.23. Etapas del manejo del tolueno aplicando un análisis de ciclo cerrado

#### 4.3.3.3. Fases no tituladas

##### ➤ Minimización

En la minimización de este residuo entra en juego un factor muy importante, como lo es la preparación de los alumnos en cuanto al manejo del material de vidrio, pues al no saber manipular las buretas, emplean cantidades mayores de reactivos a las requeridas; es por ello, que aún cuando no es una labor correspondiente al LFAQ, al iniciar el semestre debe realizarse una charla introductoria sobre los aspectos más relevantes del manejo de equipos, reactivos, material de vidrio, etc., que pueda influir en la generación de residuos, con la finalidad no sólo de enseñar fundamentos básicos, sino también de concientizar al estudiantado en lo referente a los aspectos económicos y ambientales que la mala manipulación de materiales trae como consecuencia.

##### ➤ Recuperación

En estas fases se tiene la presencia de agua, ácido acético y tolueno, al separar las distintas fracciones, mediante un embudo de decantación, se obtiene una fase acuosa que está compuesta por agua y ácido acético, con algunas trazas o pequeñas cantidades de tolueno; haciendo uso de la caracterización realizada se conoce que esta



mezcla posee un pH de  $(0,678 \pm 0,001)$  unidades, es decir, contiene gran cantidad de ácido acético en su composición, pero debido a la proximidad de las temperaturas de ebullición (ver tabla en apéndice D.1), es difícil separar ambos compuestos por medio de la destilación simple, por lo que no es viable plantear alternativas para recuperar cualquiera de los componentes de esta mezcla, siendo el ácido acético el de mayor importancia por el costo y la dificultad que implica su adquisición.

En lo referente a la fracción orgánica, está compuesta principalmente por tolueno, una parte ácido acético distribuido en esta fase desde el sistema inicial con trazas o pequeñas cantidades de agua; todos ellos poseen puntos de ebullición muy cercanos entre sí, y como se explica para la fracción acuosa, esto puede dificultar la separación de los mismos con un buen grado de pureza, por ello se plantea la recuperación del componente presente en mayor proporción (tolueno), mediante un **sistema de recuperación de tolueno con recirculación**, el cual está basado en la diferencia de densidades de los compuestos.

#### ➤ **Reutilización**

Si luego de aplicar el **sistema de recuperación de tolueno con recirculación** sólo para la fracción orgánica, se obtiene el tolueno con una pureza tal que no interfiera en los resultados de la práctica, es decir, sin trazas de agua, este podría ser reutilizado en la misma de forma similar al reactivo empleado en el LFQ, en caso contrario el residuo debe ser tratado y dispuesto adecuadamente.

#### ➤ **Disposición final**

Si luego de aplicar el **sistema de recuperación de tolueno con recirculación** no se obtiene un producto con características similares a las del reactivo puro, debe ser tratado adecuadamente, y en caso de obtenerlo, se debe disponer de igual forma, al finalizar su reutilización.

Al igual que el ácido nítrico titulado de calorimetría la alternativa seleccionada, es la fotocatalisis heterogénea por las razones antes mencionadas, principalmente por la disponibilidad de las instalaciones y equipos, condiciones de operación y costos



asociados a esta alternativa; sin embargo, al tomar en cuenta otro factor muy importante para la selección, como lo es la clase de compuestos tratados, se tiene que esta opción presenta una gran desventaja pues los estudios relacionados están enfocados en el tratamiento de fenoles y no en específico al tolueno, mientras que la biodegradación se muestra como la siguiente mejor alternativa, ya que se ajusta más para tratar estos compuestos y obtener resultados favorables, obteniendo casi el mismo puntaje que en el caso de la fotocatalisis heterogénea (ver tabla 4.8), es decir, se podría llevar a cabo cualquiera de las dos alternativas o ambas.

Sin embargo, a fin de corroborar los resultados de las TAO's en presencia de tolueno como contaminante, debido a la puntuación otorgada de forma preliminar, se lleva a cabo la oxidación fotocatalítica para observar los beneficios de su aplicación, pues aunque está dirigida mayormente a la degradación de fenoles, esta tecnología al ser la alternativa seleccionada para tratar otros residuos y componentes de esta investigación, se cuenta con los reactivos requeridos para llevarla a cabo; todo esto con la finalidad de obtener resultados que puedan ser útiles para investigaciones posteriores, empleándose un reactor tipo batch.

**Tabla 4.8. Matriz para la selección de la alternativa que permita disponer adecuadamente la fracción orgánica de las fases no tituladas**

Factor	Peso	Incineración		Biodegradación		Procesos de oxidación convencionales		TAO's (Fotocatalisis Heterogénea)	
		Cal.	Pond.	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.	Cal.	Pond.
Condiciones de operación	0,20	4	0,80	4	0,80	4	0,80	7	1,40
Formación de subproductos	0,15	3	0,45	3	0,45	4	0,60	9	1,35
Disponibilidad de instalaciones y equipos	0,25	1	0,25	7	1,75	1	0,25	7	1,75
Costos	0,20	2	0,40	7	1,40	3	0,60	8	1,60
Compuestos tratados	0,20	8	1,60	9	1,80	8	1,60	2	0,40
<b>Totales</b>	1,00		3,5		<b>6,20</b>		3,85		<b>6,50</b>



Es posible aplicar un tratamiento a la fase acuosa que lo convierta en un residuo inocuo para el ambiente, este consiste primeramente en realizar una neutralización, ya que como se muestra en la caracterización tiene un pH ácido; debido que dicha magnitud es variable a lo largo de las recolecciones, es recomendable realizar la neutralización haciendo uso de un pH-metro para determinar el punto final del tratamiento en lugar de emplear un indicador ácido-base; luego de ser neutralizada, en esta fase todavía están presentes trazas de tolueno que no deben ser enviadas al desagüe como se hace en la actualidad, por lo que se le puede aplicar el mismo tratamiento dado a la fracción orgánica para tratar el tolueno, es decir, llevar a cabo la fotocatalisis heterogénea, y de no obtener buenos resultados, se puede aplicar la biodegradación, que como ya se ha mencionado, en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería se encuentra el *CIMA* que lleva a cabo esta clase de tratamiento y estudios.

#### 4.3.3.4. Fases tituladas

##### ➤ **Minimización**

Para este residuo aplican las mismas medidas de minimización tomadas para las fases no tituladas, es decir, para disminuir el volumen generado es fundamental la concientización de los estudiantes.

##### ➤ **Recuperación**

Por razones similares a las fases no tituladas, para recuperar algunos de los compuestos contenidos en esta mezcla es necesario separarla en sus fases acuosa y orgánica; la fracción acuosa sería un sistema multicomponente formado por agua, acetato de sodio, fenolftaleína, metanol, hidróxido de sodio agregado en exceso durante las titulaciones (corroborado con el valor obtenido de  $\text{pH} = 8,817$ ) y las trazas de tolueno presentes, por lo que resultaría difícil tratar de recuperar alguno de ellos.

En cuanto a la fracción orgánica, se plantea la recuperación del tolueno presente en ella luego de la decantación, ya que como lo demuestran los análisis de espectroscopía (UV-visible), refractometría y cromatografía en la caracterización, esta fase está compuesta por un alto porcentaje de tolueno, sin embargo, se deben eliminar las trazas



de agua presente, aplicando para ello el **sistema de recuperación de tolueno con recirculación**.

➤ **Reutilización**

Debido que la fracción orgánica obtenida luego de la decantación y eliminación de las trazas de agua, presenta características similares a las del tolueno empleado en el Lfq, puede ser reutilizado en la misma práctica sin ocasionar interferencias en los resultados obtenidos en ella.

➤ **Disposición final**

De forma similar a la disposición final de la fracción orgánica de las fases no tituladas, una vez que el tolueno no pueda ser recuperado, se propone para las fracciones orgánicas de las fases tituladas la degradación mediante la aplicación de la oxidación fotocatalítica haciendo uso de un reactor tipo batch, y de no resultar favorable, otra alternativa viable para realizar la degradación de estas mezclas es la biodegradación.

Para la fracción acuosa de esta mezcla, se propone la misma alternativa seleccionada para el ácido nítrico titulado de calorimetría, a fin de degradar la fenolftaleína presente en su composición proveniente de la titulación ácido-base realizada.

**4.3.3.5. Exceso de hidróxido de sodio acuoso ( $\text{NaOH}_{\text{acuoso liq-liq}}$ ) y exceso de hidróxido de sodio alcohólico ( $\text{NaOH}_{\text{alcohólico liq-liq}}$ )**

➤ **Minimización**

Las titulaciones de las soluciones dependen en gran parte del criterio y de la habilidad que tengan los alumnos para realizarla, debido a que la estimación de los volúmenes necesarios de hidróxido para completar la práctica son difíciles de estimar, cobra un mayor valor la concientización y preparación de los estudiantes al inicio del semestre.



### ➤ Recuperación

Aún cuando no es posible la minimización de estos residuos, la recuperación de los mismos se puede llevar a cabo, y se inicia con la recolección luego de cada práctica, continúa con su almacenamiento temporal y finaliza al terminar cada semestre con la cuantificación y caracterización mediante mediciones de pH y valoraciones ácido-base, para establecer con esto sus características antes de la reutilización.

### ➤ Reutilización

Al finalizar un semestre se recuperan aproximadamente  $(1.620 \pm 270)$  mL de  $\text{NaOH}_{\text{acuoso liq-liq}}$  y  $(1.350 \pm 270)$  mL de  $\text{NaOH}_{\text{alcohólico liq-liq}}$ , que según los resultados obtenidos durante la caracterización pueden ser reincorporados en la misma práctica, y con los que se pueden realizar alrededor de 13 y 40 desarrollos experimentales en el semestre siguiente, respectivamente (ver tabla 4.9), en lugar de emplearlo para neutralizar el ácido acético y enviarlos a los tres (3) por el desagüe.

**Tabla 4.9. Número de prácticas en las que pueden ser reutilizado el  $\text{NaOH}_{\text{acuoso liq-liq}}$  y el  $\text{NaOH}_{\text{alcohólico liq-liq}}$  recuperado**

Residuo	Volumen a recolectar durante el semestre ( $V_{\text{semestre}} \pm 270$ ) mL	Volumen promedio por práctica ( $V_{\text{NaOHprom}}$ ) mL	Número de prácticas en las que puede ser reutilizado ( $N^{\circ}_{\text{prácticas}}$ ) adim
$\text{NaOH}_{\text{acuoso liq-liq}}$	1.620	120,4	13
$\text{NaOH}_{\text{alcohólico liq-liq}}$	1.350	33,7	40

### ➤ Disposición final

Aún cuando estos residuos no son recolectados práctica tras práctica, tampoco requieren de un tratamiento final para su disposición inocua, ya que si bien, para su reutilización se necesita esperar todo un semestre, cuando al fin se logra, estos se emplean en el semestre siguiente o en el peor de los casos son de utilidad para neutralizar cualquier residuo ácido generado no contemplado en el presente estudio; las

etapas de manejo antes explicadas para estos residuos se muestran de forma resumida en la figura 4.24.

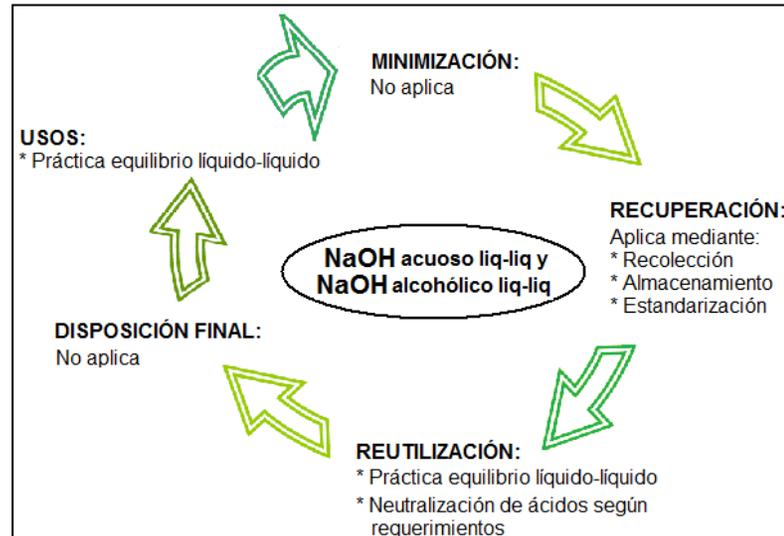


Figura 4.24. Etapas del manejo del  $\text{NaOH}_{\text{acuoso liq-liq}}$  y el  $\text{NaOH}_{\text{alcohólico liq-liq}}$  aplicando un análisis de ciclo cerrado.

#### 4.3.4. Alternativas para la práctica de conductimetría

Son muchas las modificaciones metodológicas que pueden realizarse en esta práctica para lograr la disminución de los residuos que en ella se producen, siendo la que más residuos genera en cuanto a volumen de contaminantes se refiere.

El recipiente empleado actualmente para la medición de la conductancia, es un envase de vidrio en el que se necesitan aproximadamente 60 mL de muestra para cubrir el nivel requerido por la celda conductimétrica al sumergir los electrodos a fin de que el equipo pueda arrojar un valor confiable. Este envase debe ser sustituido por uno de plástico que es el material adecuado para realizar esta clase de mediciones, debido a que los recipientes de vidrio contienen iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Si}^{+2}$  que pueden interferir en los valores de conductancia medidos (NCR 212 Calidad del agua para laboratorios de prueba, 1996), asimismo puede usarse un recipiente que requiera de menor cantidad de muestra para efectuar la toma de datos; un ejemplo de ello es un cilindro graduado de  $(50 \pm 0,5)$  mL de plástico como el observado en la figura 4.25, en el que la celda conductimétrica se

introduce con mucha facilidad y hasta la profundidad necesaria para cubrirla y tener valores confiables con solo agregar 50 mL de la solución electrolítica.

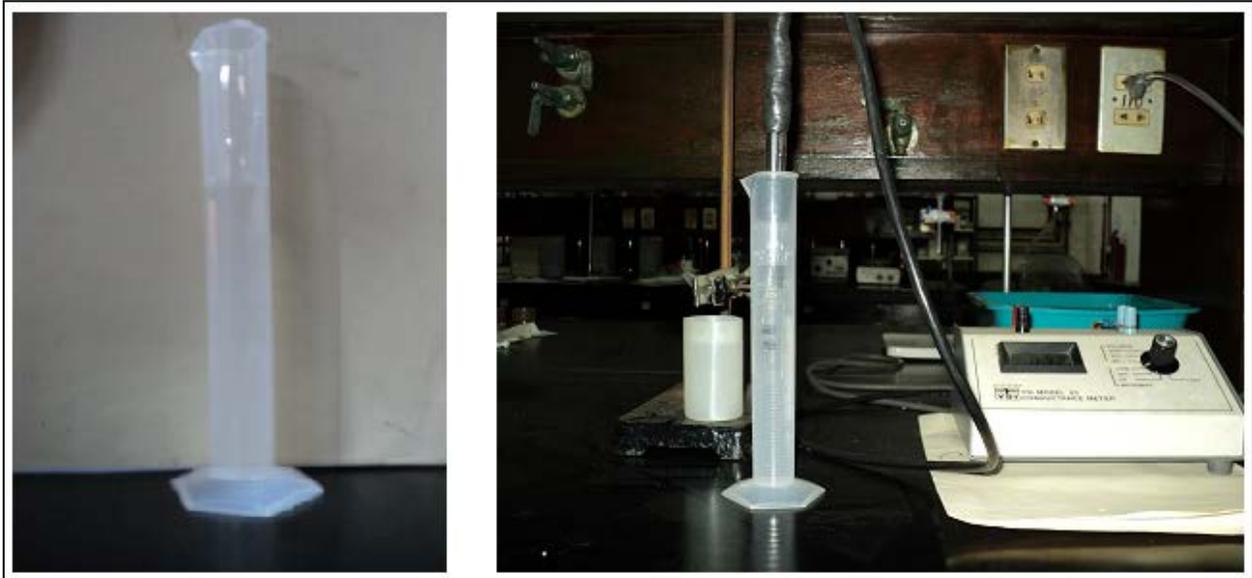


Figura 4.25. Cilindro graduado apropiado para realizar las mediciones conductimétricas

Al realizar las mediciones de conductancia para el agua destilada (siendo esta la solución de referencia empleada en el LFQ para verificar que las medidas a obtener del equipo sean confiables) se registran los valores en la tabla del apéndice A.18, que al ser comparados con los medidos durante el período de recolección (ver tabla del apéndice A.17), se observa que la mayor discrepancia se presenta respecto a la primera semana, teniendo un porcentaje de desviación cercano al 4 %, significando esto que los resultados son confiables y que las prácticas se pueden llevar a cabo sin problema alguno al implementar el uso del cilindro graduado de plástico de 50 mL.

#### 4.3.4.1. Cloruro de sodio diluido ( $\text{NaCl}$ ), ácido clorhídrico diluido ( $\text{HCl}_{\text{diluido}}$ ) y ácido acético diluido ( $\text{HAc}_{\text{diluido}}$ )

##### ➤ Minimización

Los cambios realizados a esta metodología son drásticos y quizás un poco difíciles de implementar, pero necesarios, porque la cantidad de desechos que se genera debido a



estos tres residuos es exagerada, haciendo de esta la práctica en la que más volumen de sustancias se envían al desagüe, como lo demuestra el volumen estimado en promedio para un semestre regular con 9 secciones en el LFQ, con  $(83.430 \pm 810)$  mL (ver tabla 4.10), por lo que para llevar a cabo esta alternativa se requiere de la colaboración de todo el personal del laboratorio, profesores, técnico y preparadores.

**Tabla 4.10. Estimación de los volúmenes que generan el NaCl, HCl<sub>diluido</sub> y HAC<sub>diluido</sub> en un semestre**

Volumen de residuo generado en un semestre ( $V_{\text{semestre}} \pm 270$ ) mL			Volumen total aproximado de NaCl, HCl <sub>diluido</sub> y HAC <sub>diluido</sub> generado en un semestre ( $V_{\text{diluido}} \pm 810$ ) mL
NaCl	HCl <sub>diluido</sub>	HAC <sub>diluido</sub>	
17.550	15.930	50.220	83.430

Inicialmente, el técnico del laboratorio debe preparar todas las soluciones a emplear en el desarrollo experimental e introducir en balones aforados de 100 mL un volumen de 50 mL de cada solución preparada, incluyendo el cloruro de potasio.

Es posible establecer que todas estas soluciones se reutilicen durante tres (3) prácticas, ya que como se demuestra en los análisis de parámetros fisicoquímicos realizados a cada una de estas, las mismas conservan sus propiedades conductimétricas durante todo el período de recolección de muestras (8 semanas aproximadamente), y además, al realizar la reutilización del cloruro de potasio (KCl) durante los desarrollos experimentales, se observa que a partir de la cuarta reutilización los valores obtenidos difieren de los esperados, presentando una desviación entre ellos mayor al 5 %. Como en una semana se realizan 9 prácticas, se debe introducir nuevamente en los recipientes la misma cantidad de solución para utilizarlas en las tres (3) prácticas siguientes y repetir el procedimiento para las tres últimas, es decir, en una semana se prepararan las soluciones tres veces en lugar de nueve como se realiza actualmente.



Además del cambio del recipiente donde se realizan las mediciones conductimétricas, una modificación de gran importancia en esta práctica, es la incorporación de un nuevo objetivo específico, el cual trata de determinar la variación de la conductividad respecto a la temperatura de las soluciones electrolíticas, permitiendo a los estudiantes establecer comparaciones entre las medidas realizadas a las mismas soluciones a distintas temperaturas; la finalidad de esto radica en que al facilitar una parte del trabajo a los estudiantes por no tener que preparar las soluciones, se busca lograr el estudio de nuevos objetivos dentro del práctica, compensando a su vez el tiempo de duración del desarrollo experimental.

Entre los objetivos principales del laboratorio están que los alumnos apliquen los conocimientos adquiridos en la teoría y mejoren el manejo de equipos, entonces al lograrlo con un menor gasto de reactivos y producción de residuos, resulta más provechoso para el laboratorio, la universidad y el ambiente.

#### ➤ **Recuperación**

La recuperación de estos residuos inicia al finalizar cada práctica, ya que los alumnos deben devolver las soluciones utilizadas a los recipientes de donde las tomaron; sin embargo, esta recuperación es temporal, ya que al cumplirse el número de veces establecidas para la reutilización (siendo tres prácticas para cada una de ellas), las soluciones de ácido acético y clorhídrico deben ser trasvasadas a un (1) recipiente de 10 L cada una, ya que al implementar la propuesta se genera un volumen aproximado de 7,2 L por semestre de soluciones ácido acético y 5,4 L de soluciones de ácido clorhídrico.

Una vez finalizada la recolección de  $\text{HCl}_{\text{diluido}}$  y  $\text{HAc}_{\text{diluido}}$  al finalizar el semestre, estos deben ser estandarizados a fin de conocer las condiciones iniciales para su reutilización.

#### ➤ **Reutilización**

La reutilización del **NaCl** se lleva a cabo en la misma práctica un número finito de veces, después de las cuales debe detenerse. Al llevar a cabo la propuesta, el volumen



de residuo promedio generado en un semestre es de 2.700 mL, lo que representa un porcentaje de disminución respecto al volumen producido actualmente de  $(84,6 \pm 0,2)$  %, tal como se observa en la tabla 4.11.

**Tabla 4.11. Estimación del volumen de NaCl que se genera al implementar la metodología propuesta**

<b>Volumen generado en un semestre (<math>V_{\text{semestre}} \pm 270</math>) mL</b>	<b>Volumen a generar (<math>V_{\text{propuesta NaCl}}</math>) mL</b>	<b>Porcentaje de disminución (<math>P_{\text{dism}} \pm 0,2</math>) %</b>
17.550	2.700	84,6

Para el  $\text{HCl}_{\text{diluido}}$  se tiene que al finalizar las etapas de recuperaciones y reutilizaciones en la práctica de conductimetría, este residuo aún posee las condiciones necesarias para ser reutilizado en una titulación conductimétrica y potenciométrica combinadas, que puede ser llevada a cabo en el LQA o incluso en el LFQ, en la cual se necesitan soluciones de HCl con concentraciones similares a las de este al salir de la práctica, es decir, que la solución puede ser utilizada con estas características.

El planteamiento anterior está basado en que el desarrollo experimental realizado por los estudiantes en los laboratorios debe ir más allá de la sola aplicación de los conocimientos adquiridos en clase, además, debe brindárseles las herramientas necesarias que les permitan enfrentar situaciones nuevas y resolver determinados problemas, y con la unificación de dos prácticas que se realizan actualmente en el LQA, se les ofrece a los alumnos criterios que les ayudarían a decidir cuál técnica emplear en otras situaciones.

Para el  $\text{HAc}_{\text{diluido}}$  ocurre similar al  $\text{HCl}_{\text{diluido}}$ , es decir, este puede ser empleado como reactivo en una práctica que combina las titulaciones potenciométricas y conductimétricas en un solo desarrollo experimental, siendo necesario para ello la dilución del mismo de hasta 600 veces, ya que la concentración de este residuo es de  $(0,48 \pm 0,01)$  N y la requerida es de 0,0008 N.



**Tabla 4.12. Concentraciones requeridas de HCl<sub>diluido</sub> y HAC<sub>diluido</sub> para realizar la titulación conductimétrica y potenciométrica combinadas**

Residuo	Concentración del HCl <sub>diluido</sub> (C <sub>HCl diluido</sub> ± 0,0001) N	Concentración del HAC <sub>diluido</sub> (C <sub>HAc diluido</sub> ± 0,01) N	Concentración requerida para la reutilización (C <sub>requerida</sub> ) N
HCl <sub>diluido</sub>	0,0008	-----	0,0008
HAC <sub>diluido</sub>	-----	0,48	0,0008

Para llevar a cabo la práctica de titulación potenciométrica y conductimétrica combinadas, se requieren aproximadamente de 15 mL de solución de ácido acético por semestre, por lo que al volumen restante se le puede dar otra aplicación, tal como sería reutilizarlo en la práctica de adsorción sobre carbón activado realizada en el LFQ, como sustituyente ocasional o rotativo del ácido oxálico, en la que se requieren de 675 mL aproximadamente para realizar la práctica durante un semestre, todo esto se debe a que las soluciones empleadas en ambos desarrollos experimentales tienen concentraciones mucho menores a las que posee el residuo recolectado, por lo que ambas propuestas se podrían llevar a cabo independientemente de la implementación o no de los cambios metodológicos propuestos para la práctica de conductimetría.

#### ➤ Disposición final

Para el **NaCl** se tiene que luego de ser utilizado reiteradamente, esta sal puede ser eliminada a través del desagüe como indica la MSDS de **Winkler Ltda.** (ver figura en apéndice D.9), que sugiere diluir con agua en una proporción mínima de 1:20; al realizar los cálculos correspondientes se observa que el residuo enviado al desagüe actualmente tiene una relación de 1:9486, ya que por cada seis (6) soluciones preparadas y desechadas en una práctica (640 mL aproximadamente) se utilizan 0,146 g de NaCl, y al implementar los cambios realizados a la metodología no se modifica la concentración de las soluciones, aún cuando si se disminuye el volumen utilizado por práctica, se varía la frecuencia de desecho y se minimiza el volumen final vertido.



Lo anteriormente dicho significa que no es necesario realizar una dilución extra para verterlo en el desagüe, ya que las relaciones mencionadas cumplen por mucho, con los requerimientos mínimos establecidos para la correcta disposición de este residuo.

Para el LFQ la disposición final del  $\text{HCl}_{\text{diluido}}$  sería plantear y acordar su reuso, y por ende la entrega al LQA, con la finalidad de ser empleado en la práctica de titulación conductimétrica y potenciométrica combinadas, durante la cual se generan dos residuos que lo involucran, el primero es el proveniente de la titulación combinada durante la cual se agrega hidróxido de sodio en exceso y el segundo es el  $\text{HCl}_{\text{diluido}}$  que se emplea para realizar una titulación potenciométrica tradicional, parte de este último puede ser utilizado para neutralizar el primero y al excedente se debe añadir hidróxido de sodio para posteriormente ser vertidos al desagüe.

Para una fracción del  $\text{HAc}_{\text{diluido}}$  ocurre algo similar al  $\text{HCl}_{\text{diluido}}$ , es decir, se debe acordar el reuso y la entrega con el LQA, y dar el mismo tratamiento descrito a los dos residuos que se generan; mientras que el reutilizado en la práctica de adsorción como sustituto alternativo del ácido oxálico, debe ser neutralizado y enviado luego por el sistema de desagüe, resaltando además, que luego de la adsorción su concentración es mucho menor, por lo que la cantidad de hidróxido gastado para ello es muy poca.

#### 4.3.4.2. Exceso de ácido acético ( $\text{HAc}_{\text{conductimetría}}$ )

##### ➤ Minimización

Debido que todas las soluciones a utilizar para llevar a cabo el desarrollo experimental deben ser preparadas por la técnico del laboratorio, los alumnos no manipularán ningún reactivo, por lo que al aplicar los cambios realizados a la metodología para los residuos anteriores, se suprime de forma instantánea la producción de este residuo.

##### ➤ Recuperación

Al no generarse el volumen excedente de este residuo, el mismo no debe ser recuperado.



➤ **Reutilización**

La reutilización de este residuo no aplica, porque al implementar los cambios propuestos en la metodología no se generaría.

➤ **Disposición final**

No es necesario dar una alternativa para la disposición final de este residuo, ya que entre todas las ventajas que implican realizar los cambios propuestos a la metodología se encuentra el que se dejará de producir este residuo.

#### 4.3.4.3. Exceso de ácido clorhídrico ( $\text{HCl}_{\text{conductimetría}}$ )

➤ **Minimización**

Aplica lo anteriormente explicado para el  $\text{HAc}_{\text{conductimetría}}$ , es decir, al implementar los cambios propuestos a la metodología las soluciones a utilizar en el desarrollo experimental deben ser preparadas por el técnico del LFQ, por lo que los alumnos no tendrán contacto con los reactivos y ese residuo ya no será generado.

➤ **Recuperación**

Aplican las mismas pautas que para la recuperación de  $\text{HAc}_{\text{conductimetría}}$ , no debe ser recuperado porque al implementar los cambios en la metodología no se genera un volumen excedente.

➤ **Reutilización**

Por lo antes mencionado en la etapa de recuperación, no es necesario plantear alternativas para la reutilización de este residuo.

➤ **Disposición final**

Al implementar las modificaciones metodológicas propuestas se evita que se genere este residuo, por lo que no se requiere plantear una alternativa para disponerlo adecuadamente.



#### 4.3.4.4. Exceso de cloruro de potasio (KCl)

##### ➤ **Minimización**

El cambio realizado en la metodología influye de forma significativa en la minimización de este residuo generado, ya que como se dijo el volumen gastado de este reactivo por práctica fluctúa mucho, debido a las fallas de los alumnos y a la poca claridad de la metodología en cuanto al volumen a tomar del mismo; otro factor que contribuye a la disminución en la cantidad empleada de reactivo, es la modificación del recipiente empleado para realizar las mediciones antes mencionadas, es decir, al utilizar un recipiente en el que sólo se necesiten 50 mL de solución para cubrir la celda conductimétrica, se economizan 10 mL aproximadamente por cada alícuota tomada actualmente.

##### ➤ **Recuperación**

Esta es una sal muy estable, lo que permite que pueda ser recuperada un número determinado de veces, siendo para este caso particular un total de tres veces para cada solución utilizada en el desarrollo experimental, es decir, se recolecta al final de una práctica, se reincorpora al proceso y se vuelve a recolectar hasta completar el número establecido.

##### ➤ **Reutilización**

Debido que esta es una sal muy estable, su conductancia puede ser medida varias veces sin reportar grandes diferencias entre estos valores, siendo posible seguir tomando dicha solución como patrón para determinar la constante de la celda conductimétrica, como se demuestra al comparar los valores de conductancia semanales con respecto a la medición realizada al finalizar la recolección (ver tablas en apéndices A.6 y A.7, respectivamente) y al llevar a cabo la reutilización de este residuo durante la ejecución de las prácticas, donde se observa que a partir del cuarto reuso los valores obtenidos difieren de los esperados, por lo que se establece al igual que para el NaCl, HCl<sub>diluido</sub> y HAc<sub>diluido</sub> tomar tres alícuotas de 50 mL semanales y reutilizar cada una en las siguientes dos prácticas.



Con lo anteriormente expuesto, se logra un volumen aproximado de residuo generado en un semestre de 900 mL, que representa una disminución respecto al volumen generado actualmente de  $(82,5 \pm 0,1) \%$ .

**Tabla 4.13. Estimación del volumen de residuo que se genera al implementar la metodología propuesta**

<b>Volumen de residuo generado en un semestre (<math>V_{\text{semestre}} \pm 270</math>) mL</b>	<b>Volumen de residuo a generar en un semestre (<math>V_{\text{propuesta KCl}}</math>) mL</b>	<b>Porcentaje de disminución (<math>P_{\text{dism}} \pm 0,1</math>) %</b>
5.130	900	82,5

➤ **Disposición final**

Al igual que para el NaCl, la MSDS de *Winkler Ltda.*, plantea que por ser una sal de bajo riesgo, se puede diluir con agua en una proporción mínima de 1:20 y luego eliminar en las aguas residuales o por el desagüe; tanto en el volumen de residuo desechado actualmente como en el propuesto, la relación de dilución es 1:2665 y aplica lo anteriormente descrito para el NaCl.

#### 4.3.5. Alternativas para la práctica de adsorción

##### 4.3.5.1. Exceso de ácido oxálico

➤ **Minimización**

Para completar una práctica de adsorción, se necesitan 340 mL de solución madre 0,15 M, tomando en consideración los volúmenes para preparar las soluciones, el curado del material de vidrio y un volumen adicional para evitar la succión de aire con las pipetas (ver tabla 4.14); esta cantidad de reactivo puede ser colocada en un envase en el mesón de trabajo y tener la certeza de que es suficiente para lograr los objetivos de la práctica.



**Tabla 4.14. Estimación del volumen de ácido oxálico necesario para realizar la práctica de adsorción**

<b>Variables</b>	<b>Volúmenes</b>
<b>Volumen necesario para preparar las soluciones a utilizar (<math>V_{sol}</math>) mL</b>	310
<b>Volumen a estandarizar de la solución madre (<math>V_{madre}</math>) mL</b>	5
<b>Volumen requerido para curar las pipetas volumétricas (<math>V_{pip}</math>) mL</b>	15
<b>Volumen en exceso para evitar succionar aire (<math>V_{s_{airep}}</math>) mL</b>	10
<b>Volumen total de reactivo para realizar la práctica (<math>V_{reactivo}</math>) mL</b>	340

Estas modificaciones no alteran de ninguna manera el procedimiento experimental que los estudiantes deben seguir, por lo que no es necesario incluirlo en la metodología, pero si es de suma importancia llevarlo a cabo, porque esta es una de las prácticas en la que los alumnos toman según su criterio los reactivos malgastándolos por doquier y generando muchos residuos, ya que fallan al aforar las soluciones y vuelven a prepararlas.

➤ **Recuperación**

Para recuperar este residuo no es necesario aplicar ningún tratamiento, ya que el exceso que quede en el recipiente, que es muy poco, sólo debe ser completado con reactivo nuevo en el envase dispuesto para ello hasta un nivel previamente establecido.

➤ **Reutilización**

Este proceso inicia luego de llenar el recipiente que contiene el residuo, hasta el nivel indicado con solución nueva para emplearlo en la práctica, evitando así desechar el exceso generado en la práctica anterior.

➤ **Disposición final**

Con la reutilización en la misma práctica se evita el desecho de la solución madre de ácido oxálico, por lo que no requiere ser dispuesto correctamente (ver figura 4.26).



Figura 4.26. Etapas del manejo del exceso de ácido oxálico aplicando un análisis de ciclo cerrado.

#### 4.3.5.2. Ácido oxálico titulado

##### ➤ Minimización

Con sólo establecer en la metodología el volumen de la alícuota de la solución madre a titular en 5 mL, el residuo se reduce de  $(2.160 \pm 270)$  mL generados actualmente, a  $(432 \pm 16)$  mL, representando una disminución de  $(80 \pm 1)$  % (ver cálculo en el apéndice B.18); esto es posible implementarlo porque la bureta empleada en esta práctica tiene una apreciación de  $\pm 0,05$  mL que permite a los alumnos cuantificar pequeñas cantidades de volumen agregado de titulante.

##### ➤ Recuperación

De forma similar al  $\text{HNO}_3$  titulado de calorimetría, al realizar la titulación están contenidos en el residuo una sal (oxalato de sodio),  $\text{H}_2\text{O}$  y fenolftaleína, y al considerar los costos y el volumen recuperado, las alternativas planteadas no resultan viables para recuperar algunos de los componentes de la mezcla.



➤ **Reutilización**

Debido que no es posible recuperar ninguno de los componentes de esta mezcla, no aplica la reutilización parcial o total de la misma.

➤ **Disposición final**

Considerando los componentes de esta mezcla, se tiene que la fenolftaleína es el compuesto más tóxico y perjudicial presente en ella, por lo que para la disposición final de este residuo al igual que para el  $\text{HNO}_3$  titulado de calorimetría se aplica como disposición final la oxidación fotocatalítica.

#### 4.3.5.3. Ácido oxálico filtrado

➤ **Minimización**

Una forma de reducir la producción de residuos en esta práctica es preparando las soluciones utilizadas en balones aforados de 50 mL en lugar de 100 mL, manteniendo la misma concentración que las soluciones actuales; para ello se hace necesario el uso de los siguientes materiales: tres (3) agitadores magnéticos pequeños, cinco (5) balones aforados de 50 mL, nueve (9) fioles de 125 mL, tres (3) pipetas aforadas de 5, 10 y 20 mL, de los cuales el laboratorio no posee los agitadores, pero que pueden ser adquiridos por el LFQ ya que el costo de un agitador es de 2,97 \$, siendo un costo relativamente bajo considerando las consecuencias que trae la generación de residuos.

➤ **Recuperación**

Mediante la recolección de este residuo al finalizar cada práctica, se inicia la recuperación del mismo, siendo el siguiente paso la vaporización del exceso de agua que posee; para ello se realiza un cálculo previo a fin de conocer la masa de ácido oxálico contenida en 300 mL de residuo (este el volumen aproximado que se recolecta por práctica), cuya concentración es  $(0,0009 \pm 0,0001)$  N y compararla con la masa necesaria para preparar ese mismo volumen de una solución 0,15 M (concentración aproximada de la solución empleada en la práctica), se obtiene como resultado que la masa de ácido presente en el residuo es de  $(0,012 \pm 0,002)$  g y en el reactivo es de (4,2



$\pm 0,3$ ) g, siendo un indicio de la dificultad para obtener concentraciones semejantes a las de la solución madre utilizada.

Sin embargo, es válido realizar la vaporización del agua contenida en la solución a fin de determinar hasta donde es viable aplicar dicho proceso, o en su defecto buscar otras alternativas para recuperar, reutilizar y disponer este residuo.

#### ➤ **Reutilización**

Si se logra aumentar la concentración de este ácido, una vez realizada la evaporación del agua, luego de ser estandarizado se determinan los gramos del reactivo sólido necesarios para elevar la concentración hasta un valor semejante al utilizado en la práctica y así poder emplearlo nuevamente; de no ser posible la recuperación se debe tratar adecuadamente.

#### ➤ **Disposición final**

Aún cuando pudiera ser recuperado y reutilizado continuamente en la misma práctica, este residuo debe ser inactivado mediante una neutralización ácido-base, para posteriormente ser enviado al desagüe.

#### **4.3.5.4. Ácido oxálico filtrado titulado**

#### ➤ **Minimización**

La concentración del hidróxido de sodio utilizado en la práctica es cercana a 0,25 M, y debido a que las soluciones empleadas en la adsorción sobre carbón activado son diluidas y disminuyen aún más su concentración después de esta, las alícuotas tomadas para titular no deben ser menores a 10 mL como lo establece la metodología actualmente, por lo que la minimización para este residuo no aplica.

#### ➤ **Recuperación**

En este residuo se tiene el mismo caso presentado para el ácido oxálico titulado, es decir, es una mezcla compuesta por oxalato de sodio,  $H_2O$  y fenolftaleína y las alternativas propuestas para la recuperación de algunos de ellos no resultan viables.



➤ **Reutilización**

Debido que no es viable recuperar alguno de los componentes presentes este residuo y no es posible darle un uso con las características que tiene al concluir la práctica, la reutilización parcial o total de este no es aplicable.

➤ **Disposición final**

De forma similar al ácido oxálico titulado, el tratamiento para la fenolftaleína presente consiste en la aplicación de la fotocatalisis heterogénea.

#### 4.3.5.5. Exceso de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}_{\text{adsorción}}$ )

➤ **Minimización**

El volumen a utilizar para valorar la solución madre de ácido oxálico puede ser estimado, no así el necesario para determinar la concentración de las soluciones filtradas, porque este es un proceso que depende de muchos factores, como la temperatura, el tiempo de duración, la exposición del carbón activado a la humedad, etc., y de acuerdo a la preparación que tengan los estudiantes, las condiciones particulares de cada experiencia y su influencia sobre el volumen del titulante requerido resulta muy variable, lo que dificulta la definición de un volumen específico para realizar la práctica.

Muchas de estas fallas han sido observadas al realizar el diagnóstico de los reactivos empleados en las prácticas y durante el período de recolección de muestra de los residuos; entre las que se encuentran que algunos alumnos dejan el carbón activado, tanto la cantidad tomada, como el sólido que se encuentra en el recipiente original, a la intemperie, pudiendo contaminarse o eventualmente adsorber humedad del aire, y muchos otros alumnos, activan el selector de la temperatura de la plancha de calentamiento en lugar de sólo la agitación, influyendo directamente en la concentración de las soluciones obtenidas después de la adsorción, pudiendo ser mayor o menor según gravedad del error cometido y variando drásticamente el volumen de hidróxido empleado en la valoración; por tal motivo se prevé fijar o sellar la perilla de temperatura en las planchas a fin de prevenir o de disminuir la ocurrencia de esto.

Una falla aún más grave, es que algunos estudiantes no saben cuándo deben detener la titulación, agregando un exceso de hidróxido aunque la solución esté de color rosa; todo esto conlleva a que se gaste más o menos reactivo por cada práctica realizada y como se dijo anteriormente, se dificulta establecer un volumen de hidróxido a utilizar por práctica.

### ➤ **Recuperación**

El volumen promedio acumulado de este residuo en un semestre es de  $(2.700 \pm 270)$  mL, por lo que debe ser recolectado y almacenado en un envase de 4 L de capacidad, para ser estandarizado al finalizar el mismo.

### ➤ **Reutilización**

El volumen acumulado durante las tres semanas de recolección es de  $(450 \pm 45)$  mL, que se convierten al finalizar el semestre en  $(2.700 \pm 270)$  mL y con los que podrían realizarse 122 prácticas, es decir, se pueden cubrir los desarrollos experimentales de dos (2) semestres, ahorrando el reactivo que implica la preparación de esta solución en tal período.

### ➤ **Disposición final**

Al finalizar la etapa de reutilización no existen residuos que disponer (ver figura 4.27).

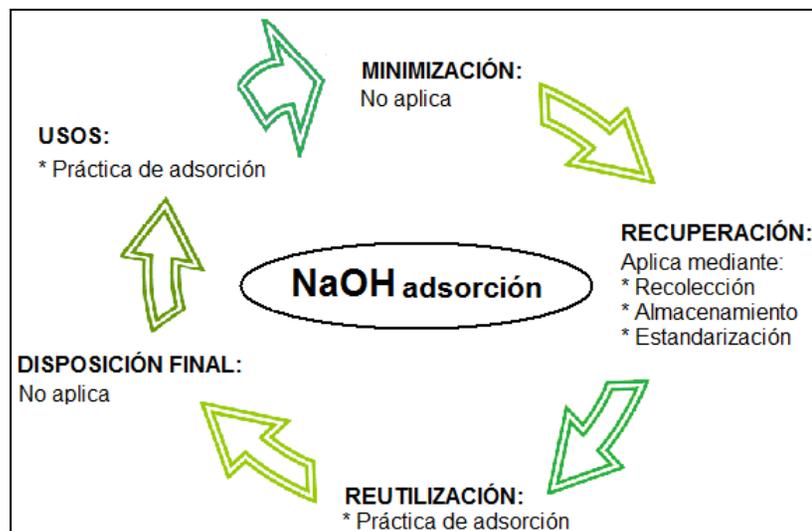


Figura 4.27. Etapas del manejo del  $\text{NaOH}_{\text{adsorción}}$  aplicando un análisis de ciclo cerrado



#### 4.4. Evaluación de forma experimental de las alternativas seleccionadas

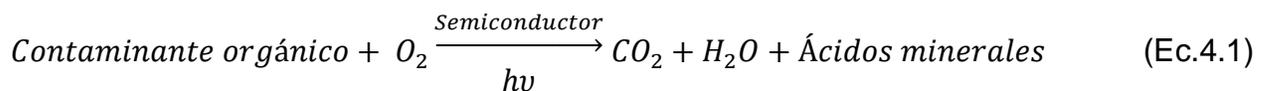
A continuación se muestran los resultados obtenidos al llevar a cabo las alternativas seleccionadas para tratar algunas de las etapas de los residuos en estudio.

##### 4.4.1. Práctica de calorimetría

Seguidamente, se detallan los resultados obtenidos al aplicar la oxidación fotocatalítica como tratamiento final para inactivar los residuos provenientes de titulaciones ácido-base que contienen fenolftaleína como contaminante.

##### 4.4.1.1. Fotocatálisis heterogénea para la degradación de fenolftaleína

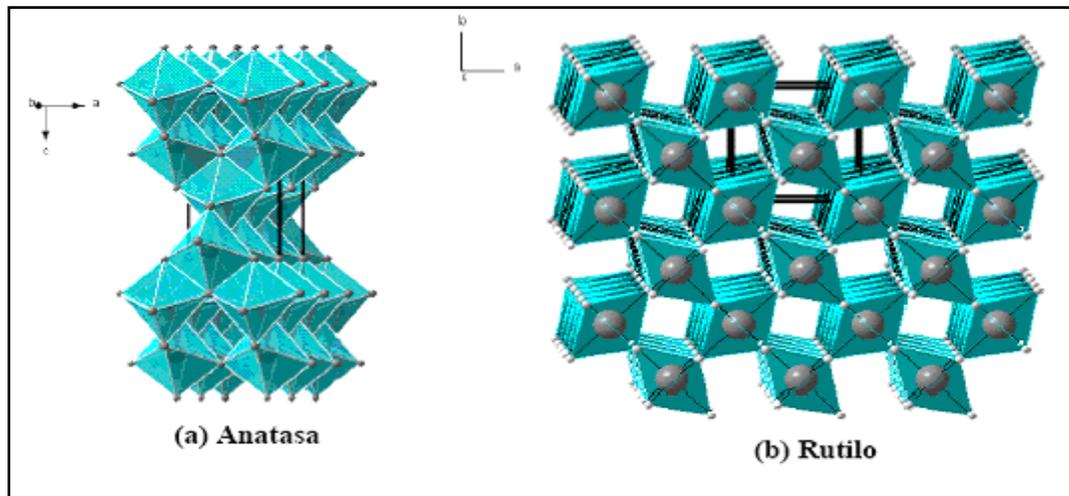
La fotocatálisis heterogénea permite la degradación, e incluso la mineralización, de gran variedad de compuestos orgánicos según la siguiente reacción global:



Entre los materiales utilizados como catalizadores, se encuentran:  $TiO_2$ , ZnO, CdS, óxidos de hierro,  $WO_3$ , ZnS, entre otros; siendo el  $TiO_2$  el empleado en esta investigación. Este compuesto es biológicamente y químicamente inerte, además de económico, resistente a la corrosión química y a la fotocorrosión, oxidando generalmente tanto los compuestos tóxicos iniciales, como los intermediarios generados en las reacciones de oxidación y no agota su fotoactividad tras una única utilización (por lo cual, idealmente, también puede ser reutilizado durante un largo periodo de tiempo) (Laguna y Rubiano, 2004), es decir, al finalizar la oxidación fotocatalítica de la fenolftaleína puede ser recuperado mediante centrifugación o mediante filtración con una membrana miliporo de 0,45  $\mu m$  y reutilizado para tratar un nuevo volumen de contaminante.

Para llevar a cabo este estudio se emplea el  $TiO_2$  de *estructura cristalina anatasa*, por ser la estructura que presenta mayor actividad fotocatalítica y la utilizada de manera habitual para aplicaciones de descontaminación ambiental, aún cuando la más estable termodinámicamente es la estructura de rutilo (Laguna y Rubiano, 2004); el  $TiO_2$

*anatasa* es un compuesto químico de fácil adquisición en distribuidoras de productos químicos a un costo relativamente bajo, debido que en cada proceso se emplea una pequeña cantidad que además puede ser reutilizada. La figura 4.28, muestra las dos estructuras cristalinas mencionadas.



Fuente: Laguna y Rubiano, 2004

Figura 4.28. Estructura cristalina de la anatasa (a) y del rutilo (b)

La solución de fenolftaleína utilizada para la oxidación fotocatalítica tiene una concentración aproximada de 150 ppm y un pH de 9 unidades; esta concentración del contaminante es la máxima que poseen los residuos titulados provenientes de las neutralizaciones ácido-base realizadas en las prácticas de calorimetría, adsorción y equilibrio líquido-líquido, a fin de garantizar que los resultados obtenidos apliquen para degradarlos a todos ellos, siendo un valor adecuado de concentración a tratar, ya que los procesos de fotodegradación son razonablemente eficientes cuando la concentración de los contaminantes es baja o media, hasta unos pocos cientos de ppm de sustancias orgánicas, siendo poco conveniente si las concentraciones superan el valor de 1 g/L (Laguna y Rubiano, 2004).

Algunos métodos usados para el seguimiento del proceso son: la demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), carbono orgánico total (COT), cromatografía, técnicas espectroscópicas (absorción espectrofotométrica en las gamas



visible y ultravioleta, espectroscopía por resonancia magnética nuclear (RMN), espectroscopia de fluorescencia, espectrofotometría de emisión y absorción atómica, espectroscopia de masas).

La *demanda química de oxígeno (DQO)* corresponde a la cantidad de oxígeno requerida para oxidar completamente por medios químicos los compuestos orgánicos a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  (Cisterna y Peña, s. f.); este valor para la fenolftaleína al inicio del proceso fotocatalítico es de 211.644,8 mg/L, después de éste se obtiene una de DQO de 104.028,8 mg/L, representando un porcentaje de mineralización aproximado de 50,9 %, aún cuando el porcentaje anterior representa la disminución de la carga orgánica a la mitad de su valor inicial, ambos valores de DQO (antes y después del tratamiento) son altos, lo que puede deberse a la cantidad de carbonos presentes en la fórmula química de la fenolftaleína ( $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$ ) y a su concentración en la mezcla tratada, por lo que se requiere gran cantidad de oxígeno para oxidarla completamente.

Mediante la *absorción espectrofotométrica en las gamas visible y ultravioleta* se mide la transparencia relativa de una solución, antes y después de hacerla reaccionar con un reactivo colorante. La disminución que se produce en la transparencia de la solución es proporcional a la concentración del compuesto analizado (Laguna y Rubiano, 2004), es por ello que se emplea para determinar la concentración de fenolftaleína en la mezcla a lo largo del proceso de oxidación. En las figuras 4.29 y 4.31, se muestran el aumento en la decoloración de la mezcla y la disminución en la concentración del contaminante, respectivamente.

Al inicio del proceso el porcentaje de transmitancia de la mezcla es de  $(48,00 \pm 0,05) \%$  y al finalizar la oxidación fotocatalítica el valor de transmitancia aumenta a  $(97,00 \pm 0,05) \%$ , logrando así una decoloración cercana al 100 % (ver figura 4.29).

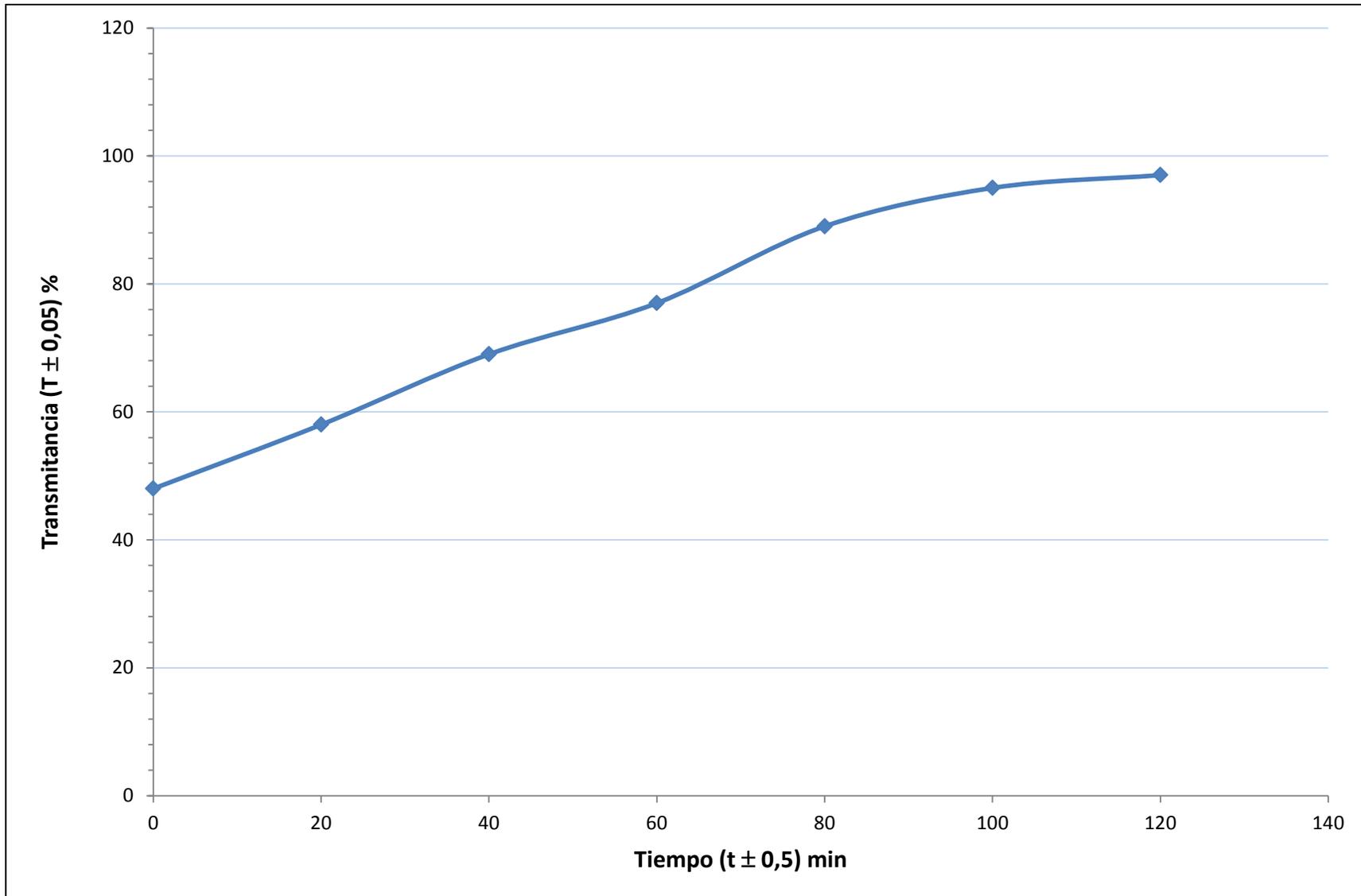


Figura 4.29. Porcentaje de decoloración de la fenolftaleína en función del tiempo

La concentración inicial de la solución es aproximadamente de  $(147,76 \pm 0,01)$  ppm de fenolftaleína y al finalizar la fotocatalisis heterogénea la solución tiene una concentración de  $(3,25 \pm 0,01)$  ppm de contaminante, es decir, se obtiene una disminución de la concentración de fenolftaleína en  $(97,73 \pm 0,01)$  % (ver figura 4.31).

Tanto los porcentajes de decoloración, como el de mineralización pueden ser mejorados, incrementando el tiempo de duración de la degradación, ya que el proceso sólo se realiza por un espacio de dos (2) horas, debido que las muestras deben ser centrifugadas durante 20 minutos antes de aplicarle cualquier análisis (UV-visible y DQO) y en el LFQ no se dispone de todos los equipos necesarios.

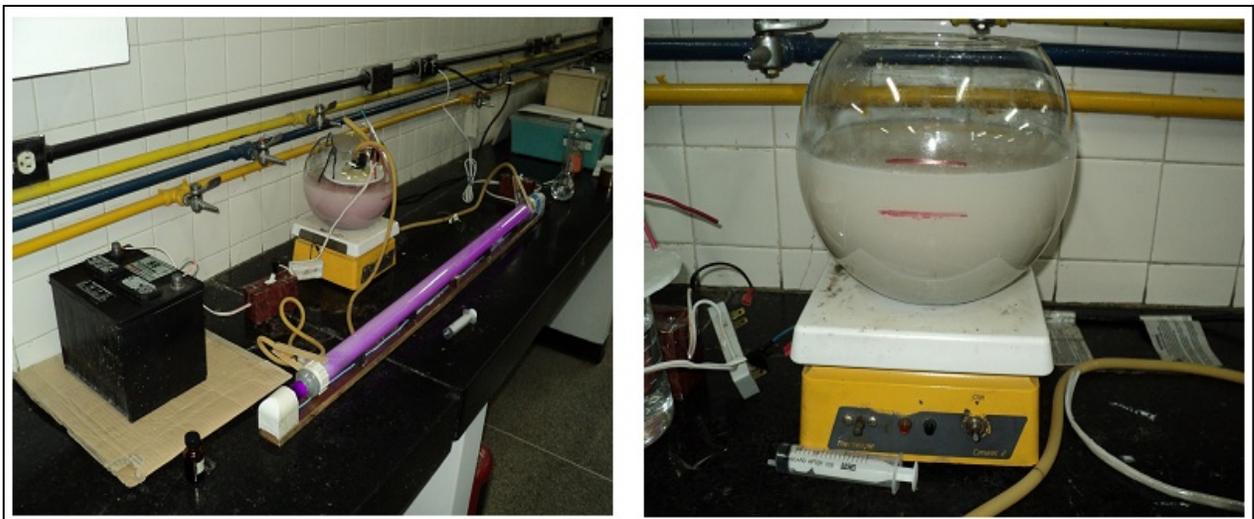


Figura 4.30. Coloración de la fenolftaleína durante la fotocatalisis heterogénea y después de la misma

Mera, (s.f.) en su estudio “*fotocatalisis heterogénea útil en el tratamiento de residuos líquidos generados en laboratorios de análisis químico y ambiental*”, demuestra que es posible lograr la completa mineralización de los compuestos orgánicos y la decoloración total del contaminante, empleando una concentración de 7 ppm de contaminante, 10 ppm de peróxido de hidrógeno y 300 ppm de  $\text{TiO}_2$  en un tiempo de duración de seis (6) horas.

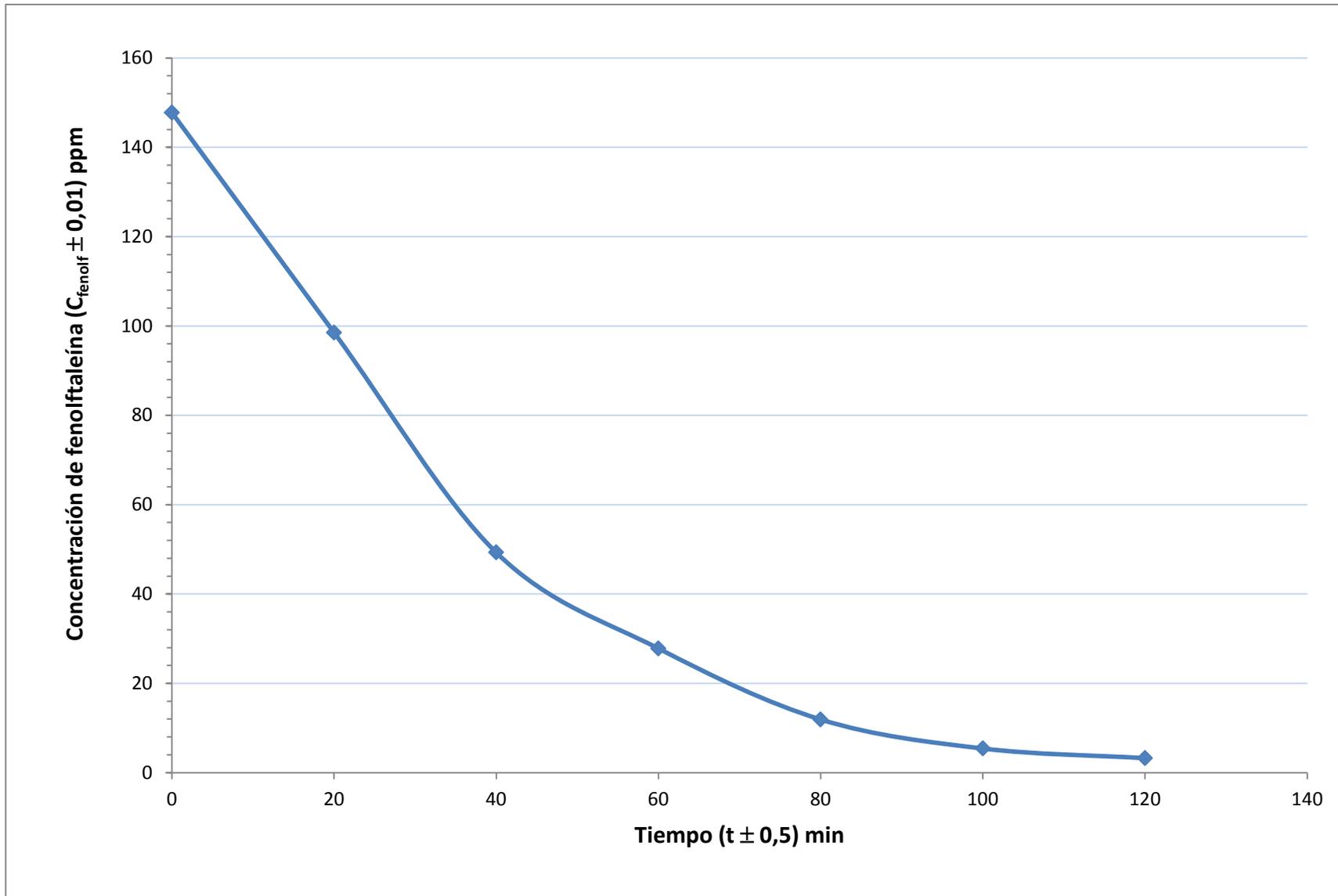


Figura 4.31. Concentración de fenolftaleína en función del tiempo



Las concentraciones de catalizador y fenol en la mezcla son particulares para cada caso, dentro de las más representativas están: Leyva et al. (1998), usando  $\text{TiO}_2$  Degussa P25 con concentración de  $0,6 \text{ g}/100 \text{ cm}^3$  y concentración de fenol de 100 ppm, Peiro et al. (2001), usan concentraciones de fenol, guayacol, catecol y 2-clorofenol de  $1000 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ , Ksibi et al. (2003) utilizan 1 g/L de catalizador, mientras Salaices et al. (2004), requirieron de 10 a 30 ppm de catalizador en fenol grado analítico 99,5% de pureza.

De forma similar a la degradación del fenol, los resultados obtenidos en la degradación de la fenolftaleína varían según la concentración y naturaleza del contaminante, las características del catalizador y las condiciones de operación, entre otros factores. En este caso particular, la concentración de contaminante utilizado es de 150 ppm aproximadamente, catalizador 200 ppm y 100 ppm de agente oxidante ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

Existen muchos métodos para determinar el orden de la reacción, siendo el expuesto por Garcés et al. (2005), el más usado en los estudios cinéticos de fotodegradación, mostrado en los cálculos realizados en el apéndice B.20; aplicando este método se tiene que el orden de la reacción llevada a cabo es de primer orden, lo que significa que esta sólo depende de la constante de degradación del color y no de la constante del peróxido de hidrógeno, tal como se puede observar en la figura 4.32, de la cual se obtienen el orden de la reacción antes mencionado y la ecuación de velocidad de reacción, expuestos en la tabla 4.15.

**Tabla 4.15. Cinética propuesta de la reacción de degradación de la fenolftaleína**

Orden de la reacción (adim)	Constante de velocidad ( $\text{min}^{-1}$ )	Velocidad de reacción
1	0,2944	$\log[C] = -(0,2944/20,303) * t + 2,2434$

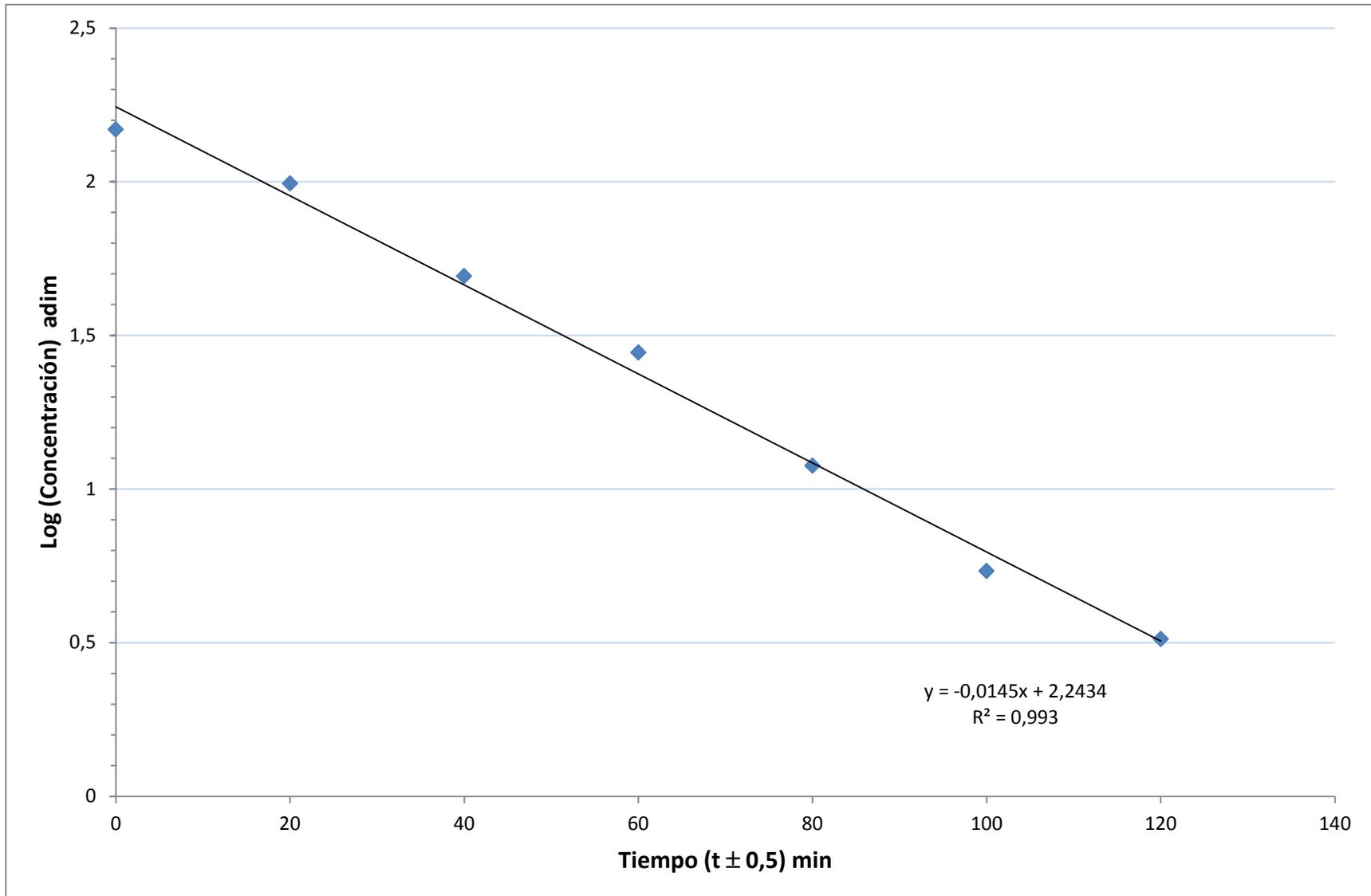


Figura 4.32. Velocidad de reacción de la degradación de la fenolftaleína mediante fotocatalisis heterogénea



Con lo antes expuesto, se establece que mediante la aplicación de la fotocatalisis heterogénea, se logra la degradación y mineralización esperada de acuerdo con los fundamentos teóricos y referencias mencionadas, para la fenolftaleína utilizada como indicador en las titulaciones ácido-base presente en los residuos provenientes del LFQ.

Este procedimiento inclusive puede ser adicionado como una nueva práctica en el LFQ, en la que los alumnos degraden los residuos provenientes de titulaciones ácido-base generados en un semestre anterior, evitando la acumulación de estos residuos en el laboratorio, contribuyendo en la concientización del estudiantado y brindándoles otras herramientas que le puedan ser de utilidad en su desempeño profesional; y debido que el dióxido de titanio tiene baja toxicidad y no se han documentado efectos negativos sobre el ambiente (Lenntech, 2009), puede ser vertido al desagüe al finalizar la degradación, en caso de no resultar viable la recuperación mediante centrifugación o filtración.

#### **4.4.2. Práctica de equilibrio líquido-líquido**

Seguidamente, se presentan los resultados obtenidos al evaluar de forma experimental las alternativas seleccionadas para tratar algunos de los residuos generados en la práctica de equilibrio líquido-líquido.

##### **4.4.2.1. Sistema de recuperación de tolueno con recirculación**

El sistema de recuperación de tolueno presente en la fase orgánica de la mezcla ternaria agua - ácido acético - tolueno, está basado en la diferencia de densidades del tolueno y ácido acético respecto a la del agua, a fin de eliminar las trazas de esta última presentes en dicha fase y lograr el mayor grado de separación posible entre los compuestos orgánicos.

En la etapa inicial de este tratamiento se obtiene una mezcla que no logra separarse en el embudo de decantación improvisado (ver figura 4.33), y que presenta las características mostradas en la tabla 4.16, indicando que es una mezcla rica en ácido



acético, pudiendo estar presente trazas de tolueno y agua, debido a la miscibilidad del ácido con estos.

**Tabla 4.16. Propiedades de la mezcla obtenida del sistema de recuperación de tolueno con recirculación**

<b>Volumen obtenido (<math>V_{mezcla} \pm 0,5</math>) mL</b>	<b>Índice de refracción (<math>I_r \pm 0,001</math>) adim</b>	<b>pH (adim)</b>
10,0	1,347	0

Posteriormente, pasados 94 minutos de recirculación, se obtienen los resultados mostrados en la tabla 4.17, es decir, es una mezcla que está compuesta mayormente por tolueno y en menor proporción por ácido acético, y se corrobora con la medición de pH, el cual es relativamente cercano al determinado para el residuo de tolueno recolectado que fue de  $(4,928 \pm 0,001)$  unidades, es importante señalar que el pH determinado después del tratamiento es medido con papel indicador de pH, lo que influye directamente en la exactitud de los valores.

Estos valores son verificados por el análisis de cromatografía de gases realizado a dicha muestra, en la que se obtiene una composición de 79,54 % en tolueno y por ende un 20,46 % aproximadamente de ácido acético, asumiendo que las trazas de agua se separaron completamente de la mezcla, ya que en la muestra recolectada inicialmente se visualizan trazas de esta pero no así en el producto principal.

**Tabla 4.17. Características del producto principal obtenido del sistema de recuperación de tolueno con recirculación**

<b>Volumen obtenido de tolueno (<math>V_{tolueno} \pm 0,5</math>) mL</b>	48,0
<b>Índice de refracción (<math>I_r \pm 0,001</math>) adim</b>	1,489
<b>Transmitancia (<math>T \pm 0,5</math>) %</b>	57,0
<b>Cromatografía</b>	79,54 % en tolueno
<b>pH (adim)</b>	4



Al realizar la titulación con NaOH 1,9740 N para la mezcla restante en el calderín se tiene una concentración de ácido acético de  $(1,30 \pm 0,05)$  N; por otro lado, para dicha mezcla, cuyo volumen es de  $(62 \pm 0,5)$  mL, presenta un pH de 2 unidades y un índice de refracción de  $(1,397 \pm 0,001)$  adim, denotando la alta concentración de ácido acético en su composición.

Todo esto permite establecer que la muestra que se desea recuperar tiene una alta concentración de tolueno, sin embargo, es posible obtener mejores resultados al aumentar el tiempo de recirculación en el sistema, ya que la separación de las fases en el embudo es un proceso lento.

Es importante señalar, que uno de los inconvenientes presentados al desarrollar el procedimiento experimental, es la condensación que se produce del vapor antes de llegar al condensador vertical y que trae como consecuencia el retorno directo de la mezcla al calderín, dificultando así el logro del objetivo planteado; esto es causado porque la unión en forma de “H” empleada en el montaje está elaborada con tubos de PVC destinados generalmente para transportar fluidos líquidos calientes y que poseen poca conducción de calor (ver figura 4.33).

Lo anteriormente explicado, ocasiona que se interrumpa el calor proveniente del calderín y que la mezcla evaporada se enfríe bruscamente, lo cual hizo necesario cubrir el montaje para lograr la transferencia de calor requerida para que el vapor llegue al condensador y permitir la separación de los componentes; para llevar a cabo nuevos estudios y evitar el inconveniente antes mencionado, se debe adecuar el equipo inicialmente improvisado para desarrollar la propuesta, modificando la recirculación usando piezas de vidrio correctamente diseñadas, lo que además podría mejorar significativamente la eficiencia de la separación.

Es importante mencionar, que tanto para esta alternativa desarrollada en forma experimental como para todas las demás que se llevaron a cabo, el pH es determinado

usando cintas de papel indicador de pH, por lo cual sus valores carecen de cifras decimales y errores.

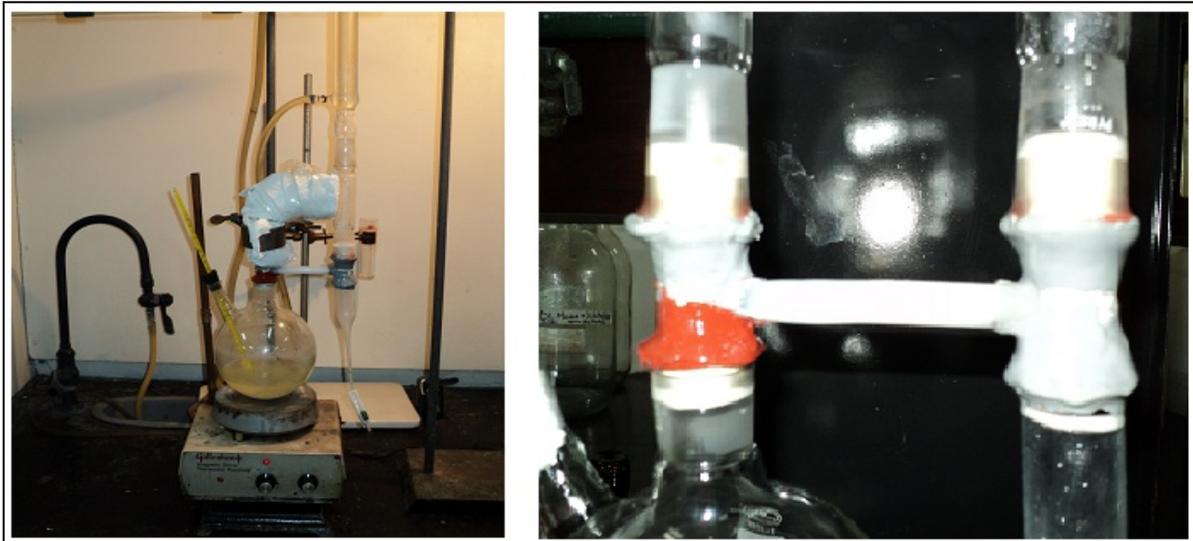


Figura 4.33. Unión en forma de “H” elaborada con tubos de PVC empleada para la recirculación continua.

#### 4.4.2.2. Fotocatálisis heterogénea para la degradación del tolueno

La oxidación fotocatalítica es aplicada al exceso de tolueno recolectado mediante un reactor tipo batch, en lugar de utilizar el tolueno proveniente de las fracciones orgánicas de las fases tituladas y no tituladas, a fin de determinar si es posible tratar este compuesto mediante la fotocatalisis heterogénea; se emplea el residuo del exceso de tolueno debido a que las fracciones han sido empleadas para desarrollar de forma experimental otras propuestas de esta investigación, siendo los resultados obtenidos los expuestos en la tabla 4.18.

Tabla 4.18. Propiedades del tolueno antes y después de la degradación fotocatalítica

Muestra	Transmitancia ( $T \pm 0,5$ ) %	Índice de refracción ( $n_r \pm 0,001$ ) adim	Cromatografía
Antes del tratamiento	90,0	1,493	-----
Final del tratamiento	76,0	1,493	92,13 % tolueno



Al finalizar el montaje experimental, la muestra presenta un índice de refracción de similar al del tolueno grado reactivo, dando un indicativo de que no es posible degradar tolueno mediante la oxidación fotocatalítica, utilizando dióxido de titanio como catalizador y peróxido de hidrógeno como agente oxidante. En cuanto al valor de transmitancia se presenta una variación, el cual es  $(76,0 \pm 0,5) \%$ , esta medida puede estar afectada por el dióxido de titanio en suspensión, que no pudo ser eliminado completamente por centrifugación por no contar con el equipo adecuado para ello.

Lo antes mencionado es corroborado con los resultados de los análisis de cromatografía realizada a la muestra final en el reactor cuyos valores indican una concentración en tolueno de 92,13 %.

Al no ser posible la degradación del tolueno mediante la oxidación fotocatalítica haciendo uso de un reactor tipo batch, los residuos que poseen esta sustancia en su composición, aunque sea en trazas, pueden ser tratadas mediante la biodegradación con la participación del CIMA-UC.

#### **4.4.3. Práctica de conductimetría**

A continuación se explican los valores obtenidos al llevar a cabo las alternativas propuestas para reutilizar el  $\text{HAc}_{\text{diluido}}$  y el  $\text{HCl}_{\text{diluido}}$  generados en esta práctica.

##### **4.4.3.1. Adsorción de ácido acético sobre carbón activado**

La adsorción es un proceso de separación y concentración de uno o más componentes de un sistema sobre una superficie sólida o líquida. Los distintos sistemas heterogéneos en los que puede tener lugar la adsorción son: sólido-líquido, sólido-gas y líquido-gas (textoscientificos.com, 2006).

El nivel de actividad de la adsorción se basa en la concentración de la sustancia en el agua, la polaridad y la temperatura. Una sustancia polar, es decir, que es soluble en agua, generalmente no puede ser eliminada totalmente por el carbón activado, ya que este adsorbe preferentemente las sustancias no polares (Camacho et al, 2008), debido



que a la superficie del carbón activado es no-polar, y por ello retiene los elementos más hidrofóbicos y con más afinidad por el carbono, especialmente las moléculas orgánicas. (Terra.org, 2005)

Aún cuando los **ácidos carboxílicos** generalmente son moléculas polares, el ácido oxálico, empleado actualmente en la práctica de adsorción como adsorbato, es una sustancia no polar, por lo que se adsorbe con facilidad, bajo las condiciones de temperatura y agitación adecuadas, para dicho proceso sobre el carbón activado.

Por otro lado, los compuestos con elevado peso molecular y baja solubilidad se absorben más fácilmente, como se puede observar en la tabla del apéndice D.1, el peso molecular del ácido oxálico es mayor al del ácido acético y su solubilidad es menor, lo que hace que este último sea un compuesto con probabilidad moderada de ser eliminado por el carbón, teniendo mayor influencia en el proceso la concentración del adsorbato, temperatura, entre otros.

El efecto de la concentración del adsorbato, se observa al realizar la adsorción sobre carbón activado de una solución de ácido acético ( $0,48 \pm 0,01$ ) N, que es el residuo proveniente directamente de la práctica de conductimetría, después de 45 minutos de agitación a temperatura ambiente, se obtiene una solución de concentración ( $0,82 \pm 0,02$ ) N, esto representa un aumento en la concentración de ( $72 \pm 8$ ) %, que puede ser debida a que las moléculas de agua han sido adsorbidas, por lo que el volumen de la solución disminuye y se concentra más el ácido acético. Cabe destacar que los moles del ácido al inicio y al final del proceso son ( $0,0048 \pm 0,0002$ ) mol y ( $0,0041 \pm 0,0001$ ) mol, respectivamente, indicando que el carbón activado ha adsorbido el agua en lugar del ácido acético.

Sin embargo, al preparar soluciones más diluidas y aplicarles el mismo procedimiento, la concentración de estas disminuye, demostrando con esto la influencia de la concentración de la solución sobre el proceso de adsorción (ver tabla 4.19).

**Tabla 4.19. Moles de las soluciones de ácido acético antes y después de la adsorción**

Solución	Concentración inicial ( $C_i \pm 0,0001$ ) mol/L	Concentración final ( $C_f \pm 0,0001$ ) mol/L	Número de moles	
			Antes de la adsorción ( $n_{\text{antes}} \pm 0,00001$ ) mol	Después de la adsorción ( $n_{\text{desp}} \pm 0,00001$ ) mol
1	0,0091	0,0023	0,00091	0,00023
2	0,0013	0,0003	0,00013	0,00003
3	0,0007	0,0001	0,00007	0,00001

Los valores mostrados en la tabla 4.19, permiten determinar los moles de ácido adsorbidos por gramo de carbón activado y los valores necesarios para la elaboración de la isoterma de Langmuir (ver tabla 4.20), logrando con esto los objetivos planteados en la práctica y demostrando la aplicabilidad de utilizar el ácido acético diluido, residuo de otra práctica, como reactivo para la práctica de adsorción.

**Tabla 4.20. Valores necesarios para la elaboración de la Isoterma de Langmuir**

Concentración final ( $C_f \pm 0,0001$ ) mol/L	Moles de ácido adsorbido/gramos de carbón ( $N \pm 0,00001$ ) mol/g	Concentración final/moles de carbón adsorbidos ( $C/N \pm 0,5$ ) g/L	Fracción de superficie de adsorbente recubierta por adsorbato ( $\theta \pm 0,01$ ) adim
0,0023	0,00034	7,0	0,17
0,0003	0,00005	5,5	0,04
0,0001	0,00003	5,0	0,02

En la tabla 4.21, se muestra la ecuación de la isoterma de Langmuir obtenida para los resultados expuestos en la tabla 4.20, siendo su representación gráfica mostrada en la figura 4.34.

**Tabla 4.21. Isoterma de Langmuir para la adsorción de ácido acético sobre carbón activado**

Constante de adsorción K (L/mol)	Número de moles necesarios para cubrir toda la superficie $N_T$ (mol/g)	Isoterma de Langmuir
159,92	0,00126	$C/N = 788,32 * C + 4,9627$

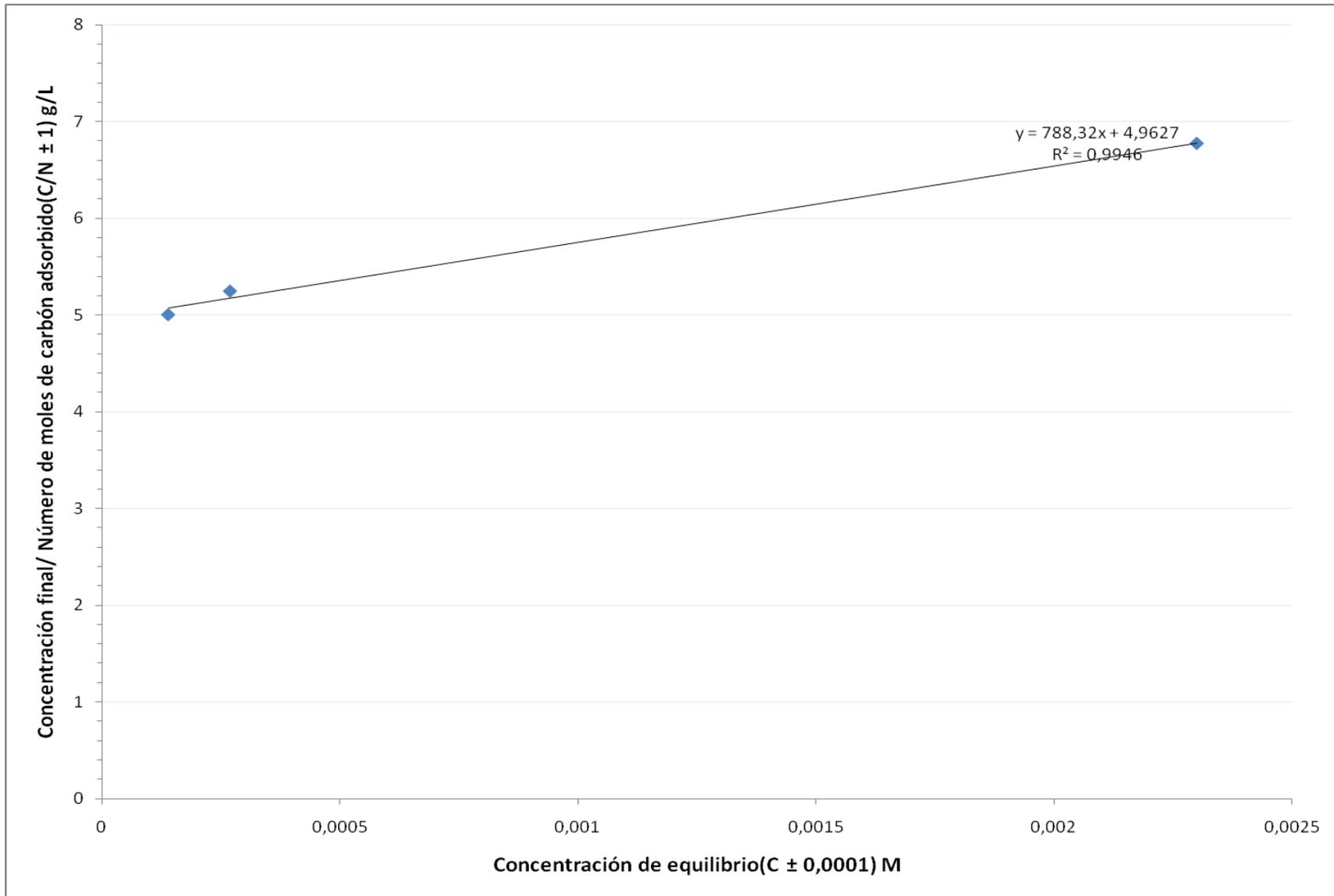


Figura 4.34. Isotherma de Langmuir para la adsorción de ácido acético sobre carbón activado



Figura 4.35. Adsorción sobre carbón activado de soluciones de ácido acético diluidas

Es importante mencionar, que de acuerdo a los resultados obtenidos, se pueden obtener mayor cantidad de puntos experimentales para construir la isoterma de Langmuir y lograr además que los estudiantes continúen preparando el mismo número de soluciones que preparan actualmente, las cuales pueden tener concentraciones que oscilen entre 0,0091 y 0,0007 N.

#### 4.4.3.2. Titulación conductimétrica y potenciométrica combinadas

Entre los desarrollos experimentales que se realizan actualmente en el LQA se encuentran las prácticas de *potenciometría* y *conductimetría*, siendo algunos de los objetivos específicos de la primera: realizar una valoración potenciométrica de una muestra problema, determinar los volúmenes en los puntos finales de la valoración, determinar la concentración del contaminante presente en la muestra problema y determinar la concentración del ácido poliprótico presente en dicha muestra.

Además, entre los objetivos de la práctica de conductimetría se encuentran: realizar una valoración conductimétrica de la muestra desconocida con una solución de hidróxido de sodio, determinar cómo varía la conductancia de la solución con el volumen agregado

de titulante, determinar el volumen agregado de hidróxido de sodio en el punto final y calcular la concentración de ácido clorhídrico en la muestra problema.

Son objetivos muy parecidos entre sí, que se logran empleando técnicas diferentes, pero que luego de aplicarlas individualmente, los alumnos generalmente no poseen el criterio para seleccionar alguna de ellas al encontrarse en situaciones en las que deban elegir entre ambas, pues no saben establecer sus semejanzas y diferencias.

En la figura 4.36, correspondiente a la titulación conductimétrica de 200 mL de una solución de ácidos, acético y clorhídrico, con NaOH 0,102 M, se observan tres regiones lineales: *Región I*, en la cual ocurre la neutralización del ácido clorhídrico, y se observa una disminución de la conductancia debido al cambio de iones  $H^+$  por  $Na^+$ , una *Región II*, en la cual ocurre la neutralización del ácido acético, observándose como un aumento suave de conductancia debido a la formación de iones  $CH_3COO^-$  y del aumento de  $Na^+$  y la *Región III*, que corresponde a la presencia del exceso de NaOH, notándose un crecimiento más acentuado de la conductancia debido a la presencia de iones  $OH^-$  con una mayor conductancia iónica a dilución infinita.

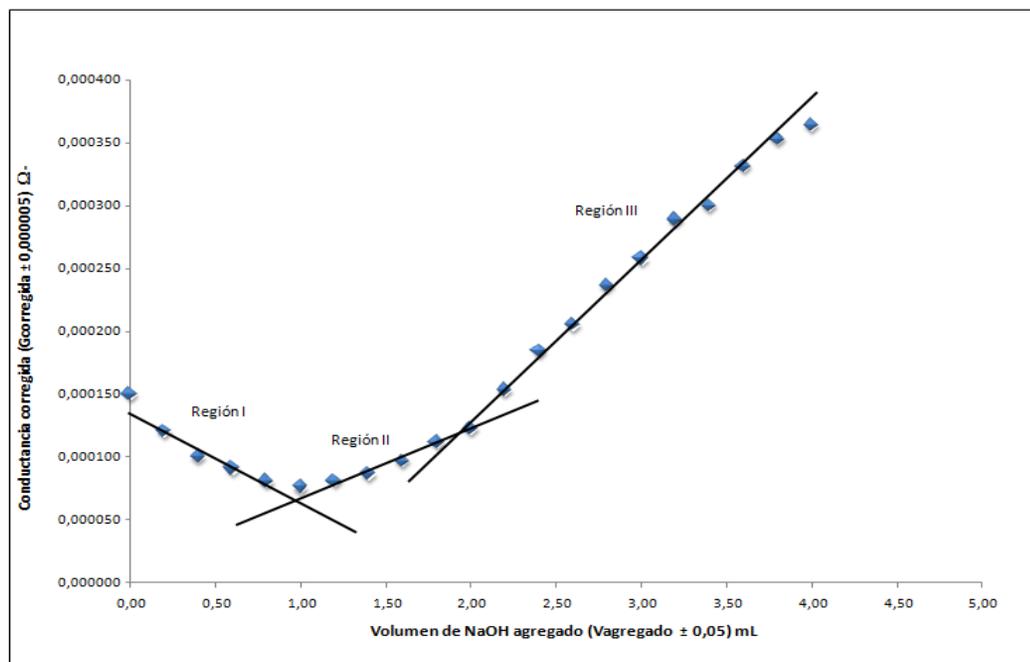


Figura 4.36. Titulación conductimétrica de 200 mL de una solución de ácidos, acético y clorhídrico, con NaOH 0,102 M.

Cuanto mayor sea la fuerza del ácido y/o su concentración en la solución, el salto potenciométrico es tanto mayor, tal como se muestra en la figura 4.37, que representa titulaciones potenciométricas de soluciones de ácido clorhídrico y acético. Los volúmenes correspondientes a los puntos estequiométricos se obtienen por medio de la primera o segunda derivada de la curva potenciométrica.

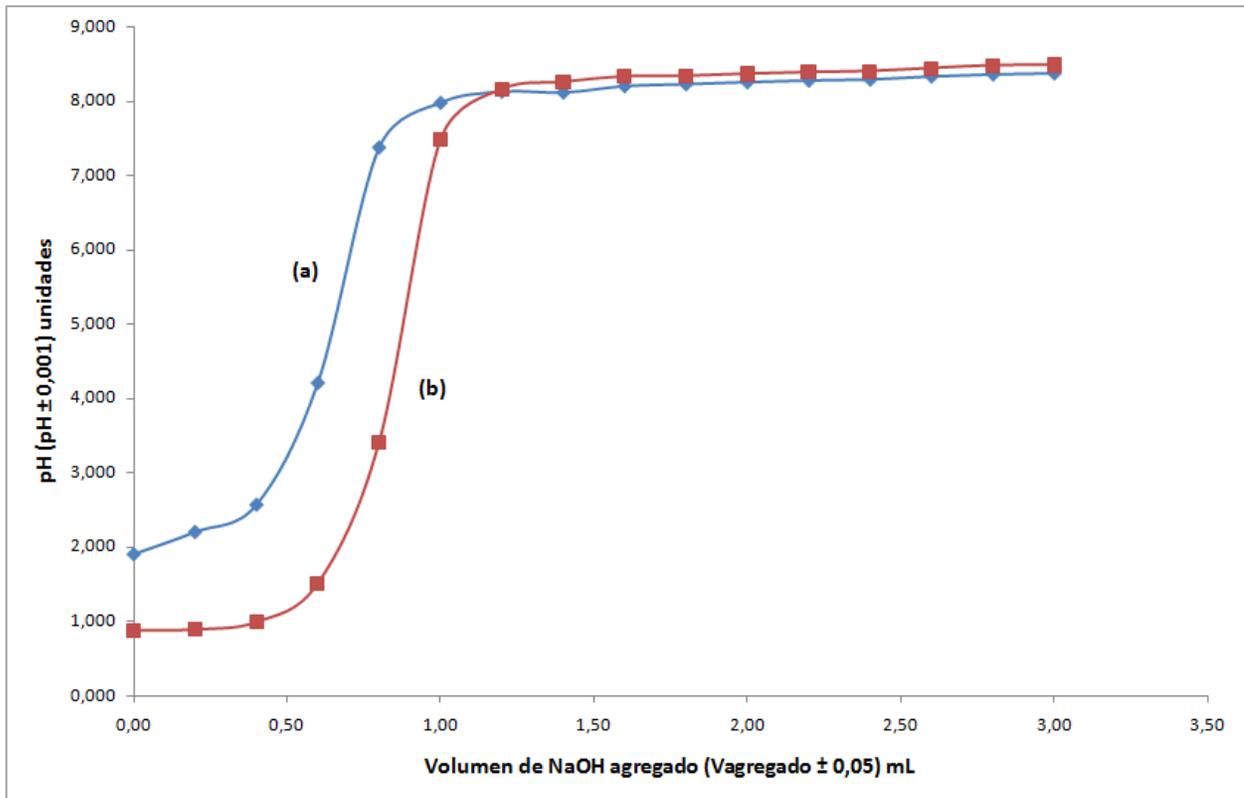


Figura 4.37. Curvas de titulación potenciométrica: (a) titulación de la solución de ácido acético 0,0008 M y (b) titulación de la solución de ácido clorhídrico 0,0008 M. Ambas soluciones tituladas con NaOH 0,102 M.

De las figuras 4.38 y 4.39, se tiene que el volumen gastado de NaOH para la titulación potenciométrica del ácido clorhídrico determinado utilizando la primera y segunda derivadas de la curva potenciométrica es 1,10 mL en ambos casos, siendo mayor que el volumen gastado en la titulación conductimétrica, 0,85 mL, lo que demuestra que parte del ácido acético fue titulado junto con el ácido clorhídrico.

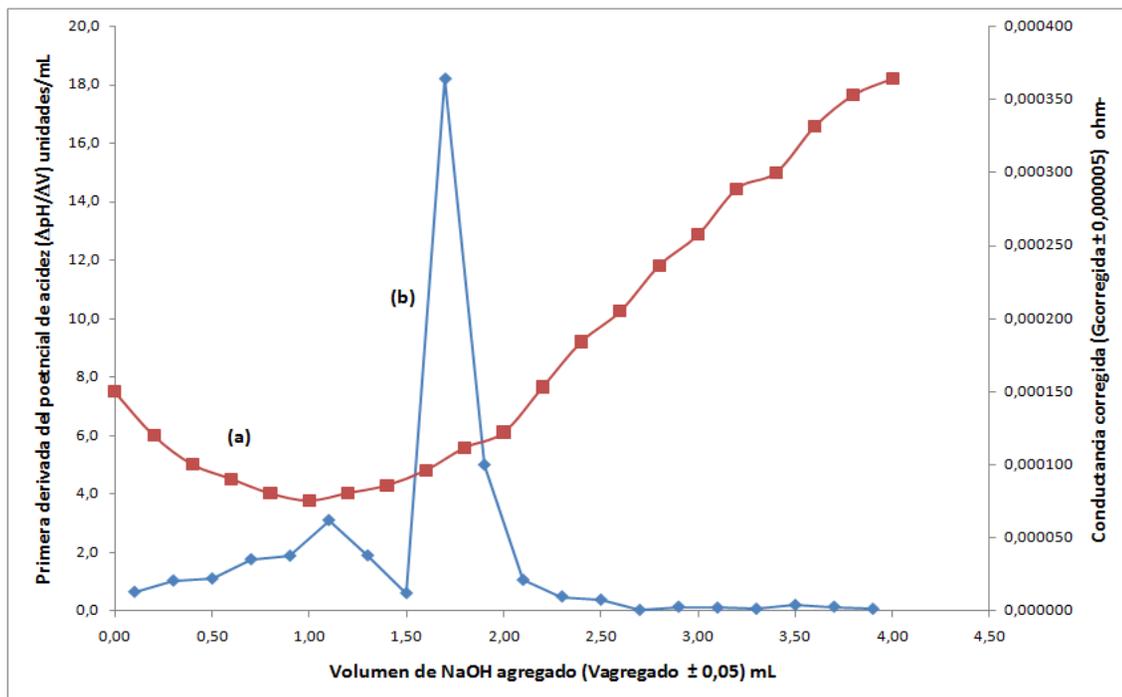


Figura 4.38. Representación simultánea de los resultados obtenidos para la titulación conductimétrica (a) y primera derivada de la titulación potenciométrica (b)

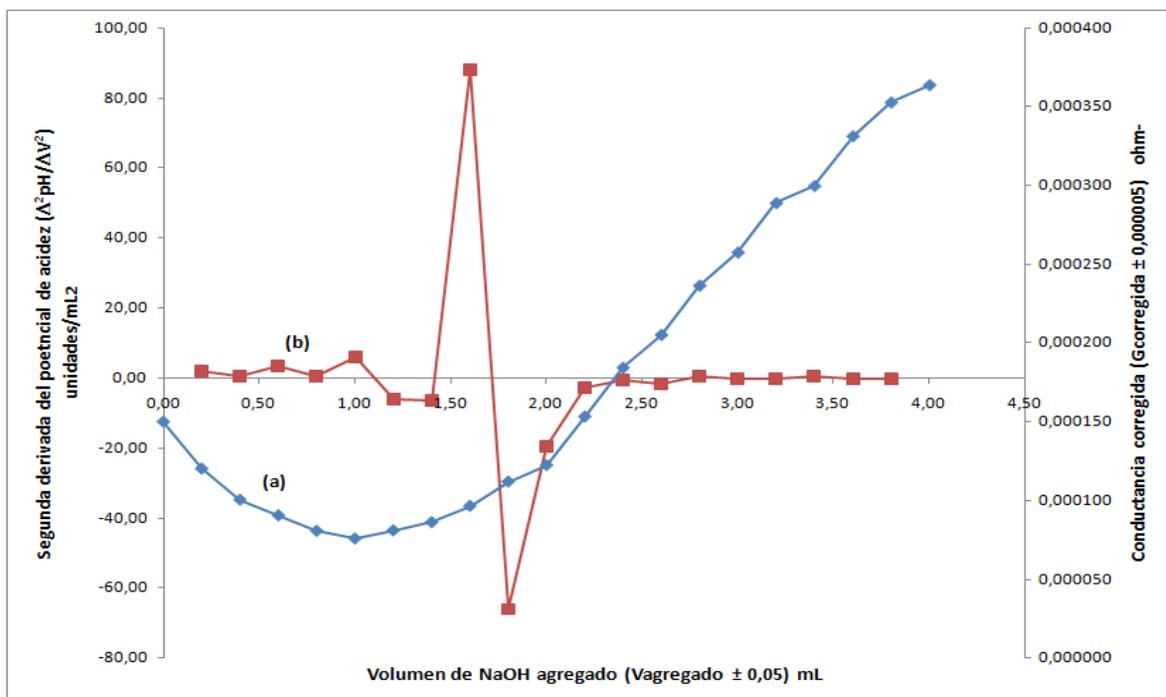


Figura 4.39. Representación simultánea de los resultados obtenidos para la titulación conductimétrica (a) y segunda derivada de la titulación potenciométrica (b)



Al comparar el volumen de NaOH, 0,6 mL, necesario para la titulación potenciométrica del ácido acético determinado, utilizando la primera y segunda derivadas de la curva potenciométrica, con el gastado en la titulación conductimétrica que es 1,05 mL, se encuentra que la neutralización del ácido débil es iniciada antes del primer salto potenciométrico, ya que el volumen de titulante gastado en la titulación conductimétrica es mayor, demostrando que, al utilizar esta técnica, los dos ácidos son titulados sin la interferencia de la neutralización mutua.

Además de lograr que los estudiantes adquieran los conocimientos de dos técnicas diferentes, y establezcan las semejanzas y diferencias entre ellas, se tienen las ventajas de la economía del tiempo y buen uso de los reactivos; ya que se emplean residuos de ácidos provenientes de la práctica de conductimetría del LFQ y se ahorran la mayoría de los reactivos empleados actualmente, porque sólo el hidróxido de sodio se utiliza como reactivo nuevo, necesitando menos de 15 mL por práctica; además, se reduce el tiempo que los estudiantes emplean para realizar dos prácticas por separado y se logran los objetivos planteados en ellas actualmente.

#### **4.4.4. Práctica de adsorción**

##### **4.4.4.1. Evaporación de agua para concentrar el ácido oxálico filtrado**

La evaporación vista como una *operación unitaria*, es una operación de transmisión de calor, utilizada para eliminar el vapor formado por ebullición de una solución líquida, para así obtener una solución concentrada. En la gran mayoría de los casos se refiere a la eliminación de agua de una solución acuosa, siendo ese el caso particular de esta alternativa experimental (Cervera, 1991).

A pesar de ser un proceso sencillo de llevar a cabo, este se realiza con la finalidad de corroborar los cálculos realizados sobre la viabilidad de la recuperación del ácido oxálico por evaporación; como el ácido oxálico a recuperar es el proveniente de la adsorción luego de la filtración del carbón, este se recolecta con una concentración de  $(0,0009 \pm 0,0001)$  N, que es muy baja para ser reutilizado dentro de la misma práctica,



por lo que se necesita elevar su concentración a un valor considerable para luego ser llevado, mediante la adición del reactivo sólido a la concentración requerida en el desarrollo experimental de la cual proviene.

La evaporación se le aplica a 500 mL de solución, y luego de transcurridos  $(94 \pm 1)$  min del montaje del proceso se toma una muestra y se titula, obteniéndose los resultados presentados en la tabla 4.22, donde se observa un aumento en la concentración de la solución a  $(0,0016 \pm 0,0004)$  N, lo que demuestra que es un proceso poco favorable en términos de rentabilidad y buen aprovechamiento del recurso, porque el valor de concentración final es poco significativo, al igual que el volumen obtenido, además, se requiere de mucho tiempo para la ejecución del mismo, por ende mayor gasto de energía eléctrica y tiempo invertido en mano de obra innecesaria.

**Tabla 4.22. Concentración de la solución ácido oxálico 0,0009 M después de la evaporación de agua**

<b>Concentración inicial (<math>C_{\text{residuo}} \pm 0,0001</math>) mol/L</b>	<b>Volumen de solución en el beaker (<math>V_{\text{beaker}} \pm 5</math>) mL</b>	<b>Concentración final (<math>C_f \pm 0,0004</math>) mol/L</b>
0,0009	250	0,0016

Al no ser posible la recuperación del ácido oxálico filtrado y tampoco su reutilización, este debe ser dispuesto de la mejor forma posible; por lo que se plantea su recolección al finalizar cada práctica seguido de una neutralización con hidróxido de sodio, chequeando el pH de la solución mediante un pH-metro y finalmente, al alcanzar las condiciones idóneas, puede ser vertido en el desagüe; es necesario que el pH-metro sea adquirido por el LFQ, ya que en este caso sería útil para evitar el uso de indicadores ácido-base en las reacciones de neutralización que se requieran, además, dicho equipo puede ser de gran utilidad en otras actividades llevadas a cabo dentro del laboratorio.

Es importante señalar que el hidróxido de sodio empleado para este fin, puede ser el residuo generado en la misma práctica, que por tener una concentración mucho mayor



a la del ácido ( $0,25 \pm 0,01$ ) M, sólo se requieren de aproximadamente 1,2 mL para realizar la neutralización luego de cada práctica, influyendo de manera poco significativa en la propuesta anteriormente planteada para el exceso de NaOH.

#### **4.4.5. Resumen de las alternativas planteadas**

A continuación se presenta en la tabla 4.23, una recopilación de las propuestas definitivas planteadas para el manejo adecuado de los residuos líquidos generados en el LFQ, considerando para ello los resultados obtenidos en la caracterización realizada, análisis de ciclo cerrado para los residuos puros, el alcance de las propuestas llevadas a cabo de forma experimental, entre otros.

#### **4.5. Determinación de la relación costo-beneficio de las propuestas seleccionadas**

A continuación, se muestran los resultados obtenidos al realizar el estudio económico de las propuestas seleccionadas; para determinar el costo de la inversión inicial se consideran los costos de todos los materiales y equipos necesarios para implementar cada una de las alternativas, los cuales se reducen al tomar en cuenta los equipos presentes en el LFQ y LQA, posteriormente se determinan los ahorros a obtener, considerando el volumen de reactivos y agua minimizados y las posibles multas que podrían aplicárseles a la universidad por los daños causados al ambiente; y en función de un balance económico en un horizonte de diez (10) años, se determina el valor actual para esta investigación.

##### **4.5.1. Capital fijo de las alternativas propuestas**

###### **4.5.1.1. Fotocatálisis heterogénea para la degradación de fenolftaleína**

El costo inicial para llevar a cabo la fotocatalisis heterogénea disminuye considerablemente al no tener que adquirir todas las sustancias, equipos o material de vidrio, necesarios para implementarla, tales como: fenolftaleína, hidróxido de sodio, agua destilada, espectrofotómetro UV, planchas de calentamiento, refractómetro, buretas, pipetas, beakers, balones aforados, entre otros (ver figura 4.40).



**Tabla 4.23. Resumen de las alternativas planteadas**

Prácticas	Residuo	Minimización	Recuperación	Reutilización	Disposición final
Calorimetría	HNO <sub>3</sub> titulado	Cambios metodológicos	No aplica	No aplica	Fotocatálisis heterogénea
	NaOH <sub>calorimetría</sub>	No aplica	Recolección, almacenamiento y estandarización	Práctica de calorimetría	No aplica
	Agua de enfriamiento	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
Equilibrio líquido-vapor	Exceso de n-hexano	Cambios metodológicos	Conservación del volumen excedente	Práctica de equilibrio líquido-vapor	No aplica
	Exceso de etanol	Cambios metodológicos	Conservación del volumen excedente	Práctica de equilibrio líquido-vapor	No aplica
	n-hexano-etanol (calibración)	Cambios metodológicos	Destilación por etapas	Práctica de equilibrio líquido-vapor y equilibrio sólido-líquido	No aplica
	Mezcla recuperada	No aplica	Decantación y destilación por etapas	Práctica de equilibrio líquido-vapor y equilibrio sólido-líquido	No aplica
	Agua de enfriamiento	Sistema de recirculación continuo	Sistema de recirculación continuo	sistema de recirculación continuo	Enviado al desagüe
Equilibrio líquido-líquido	HAc <sub>liq-liq</sub>	Cambios metodológicos	Conservación del volumen excedente	Práctica de equilibrio líquido-líquido	No aplica
	Exceso de tolueno	Cambios metodológicos	Conservación del volumen excedente	Práctica de equilibrio líquido-líquido	No aplica
	Fases no tituladas (fracción orgánica)	Concientización de los alumnos	sistema de recuperación de tolueno con recirculación	Práctica de equilibrio líquido-líquido	Biodegradación
	Fases no tituladas (fracción acuosa)	Concientización de los alumnos	No aplica	No aplica	Neutralización y biodegradación
	Fases tituladas (fracción orgánica)	Concientización de los alumnos	Decantación, sistema de recuperación de tolueno con recirculación	Práctica de equilibrio líquido-líquido	Biodegradación
	Fases tituladas (fracción acuosa)	Concientización de los alumnos	No aplica	No aplica	Fotocatálisis heterogénea
	NaOH <sub>acuoso liq-liq</sub>	No aplica	Recolección, almacenamiento y estandarización	Práctica de equilibrio líquido-líquido	No aplica
	NaOH <sub>alcohólico liq-liq</sub>	No aplica	Recolección, almacenamiento y estandarización	Práctica de equilibrio líquido-líquido	No aplica



Tabla 4.23. Resumen de las alternativas planteadas (continuación)

Prácticas	Residuo	Minimización	Recuperación	Reutilización	Disposición final
Conductimetría	NaCl	Cambios metodológicos	Retorno de la solución al recipiente de origen	Práctica de conductimetría	Enviado al desagüe
	HCl <sub>diluido</sub>	Cambios metodológicos	Retorno de la solución al recipiente de origen	Práctica de conductimetría y titulación conductimétrica y potenciométrica combinadas	Neutralización y enviado al desagüe
	HAc <sub>diluido</sub>	Cambios metodológicos	Retorno de la solución al recipiente de origen	Práctica de conductimetría, práctica de adsorción y titulación conductimétrica y potenciométrica combinadas	Neutralización y enviado al desagüe
	HAc <sub>conductimetría</sub>	Cambios metodológicos	No aplica	No aplica	No aplica
	HCl <sub>conductimetría</sub>	Cambios metodológicos	No aplica	No aplica	No aplica
	KCl	Cambios metodológicos	Retorno de la solución al recipiente de origen	Práctica de conductimetría	Enviado al desagüe
Adsorción	Exceso de ácido oxálico	Cambios metodológicos	Conservación del volumen excedente	Práctica de adsorción	No aplica
	Ácido oxálico titulado	Cambios metodológicos	No aplica	No aplica	Fotocatálisis heterogénea
	Ácido oxálico filtrado	Cambios metodológicos	No aplica	No aplica	Neutralización y enviado al desagüe
	Ácido oxálico filtrado titulado	No aplica	No aplica	No aplica	Fotocatálisis heterogénea
	NaOH <sub>adsorción</sub>	No aplica	Recolección, almacenamiento y estandarización	Práctica de adsorción	No aplica

Las sustancias empleadas en esta propuesta, son los residuos provenientes de las titulaciones ácido-base, llevada a cabo por los estudiantes del laboratorio, mientras que del hidróxido de sodio utilizado para ajustar el pH de las mismas, se puede tomar una pequeña alícuota de los residuos generados en cualquiera de las prácticas de calorimetría, adsorción o equilibrio líquido-líquido, razón por la cual no se incluyen dentro de los costos.

A pesar de que se deben adquirir compuestos como el dióxido de titanio (catalizador) y peróxido de hidrógeno (agente oxidante), cuyos precios son relativamente bajos, se debe tener en cuenta que la mínima cantidad a la venta del catalizador es un (1) kg a un costo de 60,00 BsF. y que por cada 250 mL del peróxido se deben cancelar 5,60 BsF., del primero sólo se utilizan 0,6 g y del peróxido se emplean 10 mL, por cada 3 L de solución a degradar, es decir, la adquisición de dichos compuestos es posible y favorable con recursos propios del LFQ, porque se utilizan pequeñas cantidades para llevar a cabo el experimento y en el caso del catalizador puede ser recuperado y reutilizado, lo que da como resultado que se puedan realizar varias degradaciones con los reactivos adquiridos.

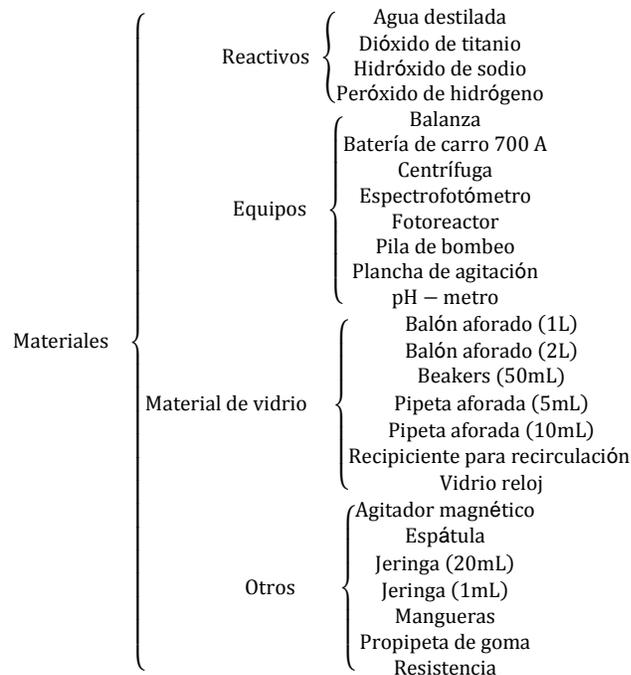


Figura 4.40. Equipos, materiales y reactivos necesarios para llevar a cabo la oxidación fotocatalítica



Cabe destacar que el fotoreactor es el equipo principal para realizar la fotocatalisis, siendo el costo estimado para la elaboración de un equipo más adecuado a las condiciones de uso continuo y menos improvisado al empleado en esta investigación, de 6.000 BsF., pero como éste ya se encuentra en las instalaciones del laboratorio, como resultado de este estudio, no tiene que ser adquirido inicialmente por el LFQ para ejecutar las degradaciones de fenolftaleína, disminuyendo así los costos iniciales para la implementación de esta alternativa.

Se sabe que el laboratorio no cuenta con un pH-metro que es indispensable para controlar el pH inicial de la mezcla, y un equipo de centrifugación para la separación de los sólidos en suspensión de la muestra degradada y así poder realizar las lecturas de UV-visible en el LFQ sin depender de otros laboratorios para ello, por lo que compra de estos equipos son necesarios para implementar esta alternativa.

#### **4.5.1.2. Reutilización del agua de enfriamiento proveniente del refractómetro y del equipo de destilación**

La inversión a realizar para poner en práctica la recuperación y reutilización del agua empleada para el enfriamiento del refractómetro y del condensador del sistema de destilación, está muy justificada, ya que con ella se evita que aproximadamente 22.806 L de agua limpia se envíen al desagüe prácticamente sin ser usadas, ahorrando en cuanto a dinero se refiere 37,17 \$, en un semestre; cabe destacar que es tan sólo el ahorro generado al minimizar y reutilizar el agua desechada en una práctica de un laboratorio, por lo que el beneficio sería mayor al mejorar el tratamiento dado a la misma en el resto de los laboratorios de la facultad de ingeniería y de la universidad en general.

A diferencia de la fotocatalisis heterogénea, los materiales y equipos para llevar a cabo esta propuesta, deben ser adquiridos en su totalidad, y se exponen con sus respectivos costos en la tabla 4.24.

#### 4.5.1.3. Sistema de recuperación de tolueno con recirculación

Considerando que el pH-metro debe adquirirse para implementar otras propuestas y que el laboratorio cuenta con el equipo de destilación y el resto de los equipos, sólo debe agregarse el valor de la unión en forma de "H" elaborada en vidrio pyrex y las perlas de ebullición (el LFQ no posee suficientes), para realizar la recuperación de tolueno mediante un sistema con recirculación, lo que resulta en un costo bajo, debido a lo sencillo de llevarlo a cabo y la importancia que tiene recuperar este reactivo, ya que disminuye el uso del tolueno nuevo y se evita detener las prácticas por su ausencia.

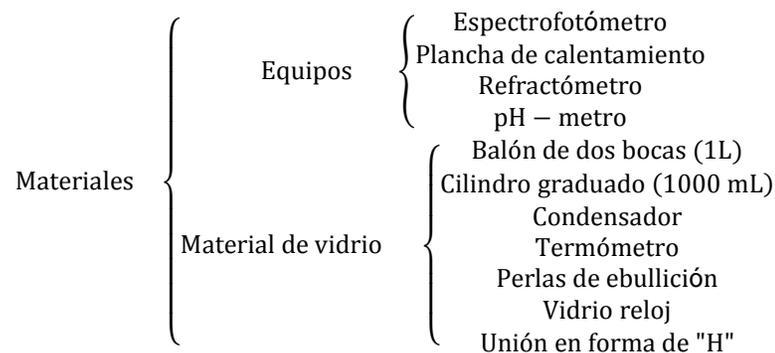


Figura 4.41. Equipos, materiales y reactivos necesarios para llevar a cabo la recuperación de tolueno mediante un sistema con recirculación

#### 4.5.1.4. Adsorción de ácido acético sobre carbón activado

Para llevar a cabo esta alternativa, no debe adquirirse ningún equipo o reactivo, ya que se emplean los mismos materiales utilizados actualmente para realizar la práctica de adsorción, y considerando que el ácido acético procede del residuo generado en conductimetría y es una nueva aplicabilidad a los residuos provenientes de otras prácticas, no se genera un costo adicional, sino por el contrario se obtiene un ahorro al dejar de utilizar el ácido oxálico. En la figura 4.42, se muestran los materiales, equipos y reactivos necesarios para implementar esta propuesta, aunque ya son parte del LFQ.



Figura 4.42. Equipos, materiales y reactivos necesarios para llevar a cabo la adsorción de ácido acético sobre carbón activado.

#### 4.5.1.5. Titulación conductimétrica y potenciométrica combinadas

Para implementar esta propuesta no se necesita otra cosa más que la disposición de querer hacerlo y lograr la colaboración mutua entre el LFQ y el LQA, ya que en este último se cuentan con todos materiales y equipos necesarios para tal fin, sin embargo, también es posible que el LFQ lleve a cabo este desarrollo experimental dentro de sus instalaciones para lo cual se requiere que adquiera un pH-metro o simplemente repare el que allí se encuentra, ya que esta propuesta les permite reutilizar residuos que están siendo enviados al desagüe e implementar una nueva práctica, además de darle un mejor tratamiento a los nuevos residuos obtenidos, porque se realiza la neutralización de los mismos sin emplear indicadores ácido-base.

En la figura 4.43 se exponen los materiales, equipos y reactivos que se requieren para llevar a cabo la titulación conductimétrica y potenciométrica combinadas, pero que ya se encuentran en su mayoría tanto en el LFQ como en el LQA, por lo que no deben ser adquiridos para realizarla.

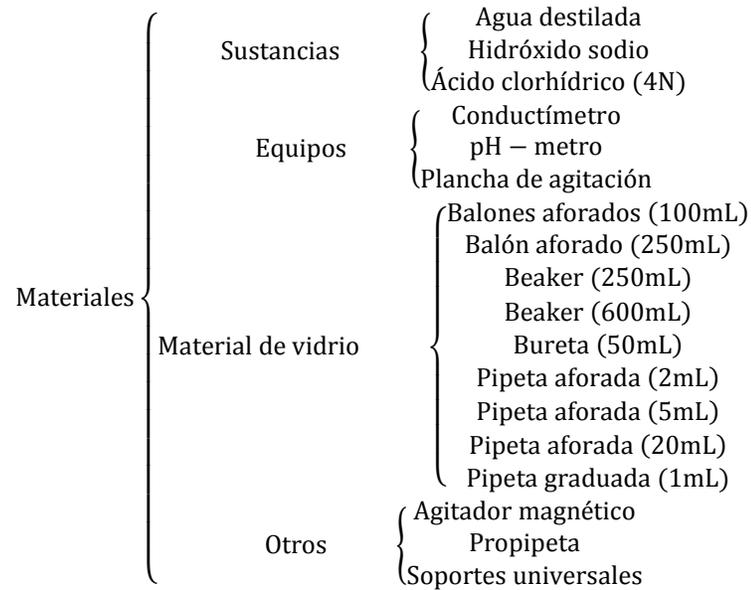


Figura 4.43. Equipos, materiales y reactivos necesarios para llevar a cabo la titulación conductimétrica y potenciométrica combinadas.

Al considerar los equipos, materiales y reactivos presentes en el LFQ y LQA, los costos para implementar las propuestas quedan reducidos a los mostrados en la tabla 4.24.

**Tabla 4.24. Costo en dólares de equipos, reactivos, material de vidrio y complementarios para llevar a cabo las alternativas propuestas**

Equipos y materiales	Precio en dólares (\$/unidad)	Número de equipos (unidad)
Bomba peristáltica	128,05	1
Tanques o bidones (40L)	13,67	2
Tanques o bidones (10L)	3,82	2
Centrífuga	439,92	1
pH-metro	276,13	1
Dióxido de titanio (1kg)	13,95	1
Peróxido de hidrógeno 3% v/v (250mL)	1,30	1
Perlas de ebullición (454g)	167,17	1
"h" de vidrio	232,56	1
Batería para carro (700A)	186,05	1
Pila de bombeo	81,40	1
Agitador magnético pequeño	2,91	1



**Tabla 4.24. Costo en dólares de equipos, reactivos, material de vidrio y complementarios para llevar a cabo las alternativas propuestas (continuación)**

Equipos y materiales	Precio en dólares (\$/unidad)	Número de equipos (unidad)
Jeringa (1mL)	0,70	1
Jeringa (20mL)	0,81	1
Mangueras (m)	2,79	26,73
Propipeta de goma	31,81	1
Válvula 3 vías	89,76	3
Soporte metálico (m)	11,63	5,10
Grapas para madera	0,23	20
Tirack (Paq.)	5,81	1
Tornillos autorroscantes	0,12	30
Codos 1/2"	0,93	2
Te plástica	17,18	4
Tirro plomo	12,79	1

Con los valores mostrados en la tabla 4.24, se determinan los activos fijos tangibles, los intangibles y el capital fijo, obteniendo como resultados los valores mostrados en la tabla 4.25.

**Tabla 4.25. Activos y capital fijo de las alternativas propuestas**

Activos fijos tangibles (AFT), \$	2.228,53
Activos fijos intangibles (AFI), \$	304,36
Capital fijo ( $C_{fijo}$ ), \$	2.532,89

#### 4.5.2. Ahorros obtenidos al aplicar las alternativas planteadas

El ahorro obtenido al minimizar 22,806 m<sup>3</sup> de agua en un semestre es de apenas 37,13 \$, pero debe considerarse que se trata del volumen utilizado por dos (2) equipos en un desarrollo experimental, es decir, el beneficio para la institución sería mayor si se aplicasen medidas similares en todas los laboratorios de la facultad de ingeniería y de la Universidad de Carabobo en general; además, es aún más importante, la reducción del impacto ambiental y la minimización del volumen de agua limpia desechado actualmente.



En cuanto al ahorro generado por el volumen de reactivos minimizados, se estima en 355,40 \$ por semestre, aproximadamente, siendo los valores correspondientes a cada reactivo los mostrados en la tabla 4.26; cabe destacar, que los costos se obtienen dependiendo de la cantidad minimizada aproximadamente y no de la mínima ofrecida por el distribuidor, por lo al considerar esta última (puesto que es así como se va a adquirir el reactivo), el beneficio es aún mayor.

**Tabla 4.26. Ahorro generado por los reactivos minimizados con la aplicación de las alternativas planteadas**

<b>Equipos y materiales</b>	<b>Cantidad minimizada aproximadamente</b>	<b>Ahorro por reactivos (\$)</b>
Etanol $\geq$ 99,5%	540,00 mL	30,24
KCl $\geq$ 99,0%	3,1807 g	0,45
Ác. Oxálico $\geq$ 99,0%	39,6167 g	6,52
NaOH $\geq$ 99,0%	330,8938 g	270,53
HCl 37%	0,8409 mL	0,05
Ácido acético glacial	1242,1626 mL	47,62

El mayor ahorro se obtiene al evitar las posibles multas que le podrían ser impuestas a la universidad por los daños que causa al ambiente actualmente; tal es el caso del artículo 79 de la Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos (2001), donde:

Toda persona natural o jurídica, pública o privada que no cumpla con las disposiciones establecidas en esta Ley o en la reglamentación técnica sobre la generación, uso y manejo de sustancias, materiales y desechos peligrosos, cuyo incumplimiento no constituya delito será sancionada con multa de doscientas unidades tributarias (200 U.T.) a dos mil unidades tributarias (2.000 U.T.).

Y en el caso del LFQ, se tiene que no se cumple con el artículo 73 de la misma ley, en el que se indica, entre otras cosas, que las personas que tengan instalaciones en funcionamiento donde se generen sustancias, materiales o desechos peligrosos, y que



no hubieren ajustado sus procesos a las disposiciones de dicha Ley, cuando esta entró en vigencia, deben presentar ante el organismo competente, un cronograma de adecuación dentro de los cuatro (4) primeros meses posteriores a esa fecha, y como es sabido, por toda la información presentada a lo largo de la investigación, los procesos que se llevan a cabo en el laboratorio no están ajustados a las disposiciones de esta o alguna otra normativa; ya que entre las sustancias que el LFQ envía al desagüe se encuentra el tolueno, el cual está clasificado en la Ley Penal del Ambiente como una sustancia peligrosa de efecto C (reactivo e inflamable), y aunque su cantidad crítica es de 500 kg, no deja de ser tóxica para los seres vivos.

De acuerdo con el artículo 82 de la Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, se le puede ahorrar a la universidad una multa de hasta 6.000 UT, ya que puede ser la sanción impuesta a las personas que generen, usen o manejen sustancias, materiales o desechos clasificados como peligrosos y provoquen riesgos a la salud y al ambiente.

Según el artículo 119 de la Ley de Aguas (2007):

Toda persona natural o jurídica, pública o privada, que realice acciones sobre el medio físico o biológico relacionado al agua que ocasionen o puedan ocasionar su degradación, en violación de los planes de gestión integral de las aguas y las normas técnicas sobre la materia, será sancionada con multa de cincuenta unidades tributarias (50 U.T.) a cinco mil unidades tributarias (5.000 U.T.).

Se puede evitar a la institución una multa de hasta 5.000 UT, ya que actualmente la mayoría de los residuos líquidos generados en el LFQ son vertidos a las aguas sin ser tratados previamente.

En la tabla 4.27, se muestran las posibles multas que podrían ser aplicadas a la universidad y el ahorro que supondría evitarlas.



**Tabla 4.27. Ahorro generado por las multas que pueden ser impuestas a la universidad al no cumplir las normativas ambientales**

<b>Leyes</b>	<b>Artículo</b>	<b>Unidades tributarias (UT)</b>	<b>Ahorro por multas (\$)</b>
Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos	79	2000	30.232,56
	82	6000	90.697,67
Ley de aguas	119	5000	75.581,40

Por lo tanto, al ahorro correspondiente a las posibles multas que podrían ser aplicadas a la institución se considera igual a 90.697,67 \$, debido a que no se impondrían todas las multas de forma simultánea.

#### **4.5.3. Beneficio económico obtenido al implementar las alternativas propuestas**

Con los valores de capital fijo y el ahorro total aproximado, se calcula la relación costo-beneficio de las alternativas planteadas, considerando como beneficios la minimización del volumen de agua utilizado para el enfriamiento de los equipos empleados en la práctica de equilibrio líquido-vapor y del volumen de los reactivos empleados en todas las prácticas, además de evitar las posibles multas que podrían acarrear el manejo dado a los residuos actualmente y aún más importante la disminución del impacto ambiental ocasionado por el LFQ hoy en día.

El valor obtenido es de 0,028, es decir, el beneficio que resulta al implementar las alternativas propuestas, que tiene un estimado de 91.090,2 \$ en ahorros de agua, reactivos y posibles multas, supera en gran medida el costo por la compra de equipos, mangueras, accesorios, reactivos, etc. (2.532,89 \$).



## CONCLUSIONES

- En el diagnóstico de las actividades desarrolladas en el LFQ y de acuerdo con las leyes y normas que supervisan el manejo adecuado de los materiales peligrosos, el tratamiento dado actualmente a la mayoría de los residuos líquidos generados en este laboratorio es inadecuado.
- Existen etapas del procedimiento actual de todas las prácticas realizadas en el LFQ que pueden ser modificadas para disminuir considerablemente la generación de residuos líquidos y la variabilidad en los volúmenes que se producen de algunos de ellos por práctica, lo que se debe principalmente a las fallas metodológicas encontradas y a la mano de obra involucrada.
- De los diagramas de Ishikawa elaborados por prácticas y analizados mediante el método de las 6 M se establece que la mano de obra es la causa más notable en la generación de residuos líquidos en el LFQ, encontrándose entre las sub-causas más influyentes la falta de destreza de los estudiantes en cuanto a la preparación de soluciones, el manejo de los equipos, desconocimiento de la metodología y su organización al momento de llevar a cabo la experiencia práctica.
- Al recolectar en la práctica de conductimetría durante nueve (9) desarrollos experimentales, y considerando todos los residuos desechados en ella ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{HCl}_{\text{diluido}}$ ,  $\text{HAc}_{\text{conductimetría}}$ ,  $\text{HCl}_{\text{conductimetría}}$ ,  $\text{HAc}_{\text{diluido}}$ ,  $\text{KCl}$ ), se obtiene un volumen aproximado de  $(15.165 \pm 270)$  mL y se estiman para un semestre  $(91.530 \pm 1.620)$  mL, constituyéndola como la mayor generadora de desechos en el LFQ.
- Los residuos provenientes de los reactivos tomados en exceso presentan, al final de la recolección, características similares a los reactivos puros empleados en cada una de las prácticas analizadas, y los análisis fisicoquímicos realizados demuestran que no se encuentran contaminados con otros compuestos pertenecientes a la misma práctica o alguna otra, además, al aplicarles un análisis de ciclo cerrado, no



se generarían residuos que vayan al desagüe o que se almacenen en recipientes en el laboratorio sin un uso aparente.

- Al aplicar el cambio propuesto a la metodología de la práctica de calorimetría y emplear 5 mL de agua para el lavado de la bomba calorimétrica, se generan en un semestre, 540 mL menos que al emplear 10 mL de agua para el mismo fin, considerando sólo la combustión del ácido benzoico; esta parece ser una cantidad poco significativa, pero no hay que dejar de lado la toxicidad de la fenolftaleína presente en esta mezcla y los efectos que tiene en los seres vivos; además, estos cambios metodológicos no aplican para el  $\text{NaOH}_{\text{calorimetría}}$ , debido a la variabilidad que presentan los volúmenes de hidróxido de sodio empleados para titular las muestras problema, lo que dificulta establecer un volumen específico que permita llevar a cabo el desarrollo experimental y minimizar así la cantidad de residuo generado.
- Dentro de los residuos estudiados en esta investigación, se encuentran mezclas como el  $\text{HNO}_3$  titulado, la fracción acuosa, tanto de las fases no tituladas como la de las tituladas, el ácido oxálico titulado y el ácido oxálico filtrado titulado, en las cuales al considerar el número de componentes presentes en las mezclas y la dificultad para separarlos, no resulta viable recuperar alguno de ellos; así como tampoco lo es recuperar el volumen de agua utilizada para el enfriamiento del calorímetro, ya que la cantidad generada al finalizar la experiencia es pequeña e insuficiente como para requerir tal alternativa.
- Debido que las titulaciones dependen en gran medida del criterio de los alumnos, sus conocimientos previos, las condiciones particulares de cada desarrollo experimental, etc., resulta difícil establecer un volumen determinado de los distintos hidróxidos a emplear en las prácticas del LFQ, por lo que la minimización de  $\text{NaOH}_{\text{calorimetría}}$ ,  $\text{NaOH}_{\text{acuoso liq-liq}}$ ,  $\text{NaOH}_{\text{alcohólico liq-liq}}$  y  $\text{NaOH}_{\text{adsorción}}$ , no es posible a través de cambios metodológicos; no obstante, la recuperación de estos residuos se



puede llevar a cabo mediante recolección y posterior estandarización, haciendo posible su reutilización en los semestres siguientes.

- Se estima que de la implementación de un sistema de recirculación continuo para reutilizar el agua de enfriamiento de la práctica de equilibrio líquido-vapor se generaría al finalizar el semestre sólo un volumen de líquido desechado igual a 360 L, representando una disminución de  $(98,45 \pm 0,05)$  % respecto a la cantidad generada actualmente, siendo esta de  $(23.166 \pm 702)$  L.
- Implementando las modificaciones en la metodología de la práctica de conductimetría se genera un volumen de NaCl de 2700 mL en un semestre, con una disminución de  $(84,6 \pm 0,2)$  % respecto al volumen producido actualmente, de forma similar para el KCl, a partir de dichos cambios se generaran 900 mL semestralmente, obteniéndose una disminución de  $(82,5 \pm 0,1)$  % respecto a la cantidad actual desechada; por otro lado, los estudiantes no manipularían el ácido acético y clorhídrico y se dejan de producir los residuos provenientes de estos reactivos.
- Luego de la reutilización del  $\text{HCl}_{\text{diluido}}$  y el  $\text{HAc}_{\text{diluido}}$  en la práctica de conductimetría, estos residuos pueden ser empleados nuevamente en un desarrollo experimental que combina titulación conductimétrica y potenciométrica que puede ser desarrollado en el LQA o el LFQ, ahorrando en el primero la mayoría de los reactivos empleados actualmente para realizar ambas prácticas por separado, reduciendo el tiempo empleado y brindando a los estudiantes mejores técnicas de aprendizaje; además es posible emplear el  $\text{HAc}_{\text{diluido}}$  en la práctica de adsorción del LFQ para sustituir ocasionalmente o de forma alternada el ácido oxálico utilizado como adsorbato en la actualidad.
- Para los residuos de KCl y NaCl, sólo se prevé la reutilización en la práctica de conductimetría, para posteriormente verterlos al desagüe sin causar daño al ambiente, según lo indican las MSDS obtenidas de **Winkler Ltda.**



- Con los cambios propuestos a la metodología en la práctica de adsorción, referente a la definición del volumen de la alícuota de solución madre a titular, se generan  $(432 \pm 16)$  mL de ácido oxálico titulado, lo que representa una disminución de  $(80 \pm 1)$  % respecto al volumen actual.
- Mediante la oxidación fotocatalítica para 150 ppm de fenolftaleína con 100 ppm de peróxido de hidrógeno y 200 ppm de  $\text{TiO}_2$ , se obtiene una mineralización del contaminante de 50,9 % en un período de dos (2) horas y se logra una disminución en la concentración de fenolftaleína de  $(97,73 \pm 0,01)$  %; no obstante, la fotocatalisis heterogénea no es una alternativa efectiva para la degradación de tolueno, ya que al finalizar el tratamiento, la muestra empleada mantiene una composición de 92,13 % de tolueno.
- El tolueno obtenido mediante el sistema de recuperación con recirculación tiene un índice de refracción de  $(1,489 \pm 0,001)$  adim y una composición de 79,54 % de tolueno, además, el tolueno resultante de la decantación de las fases tituladas presenta un índice de refracción de  $(1,493 \pm 0,001)$  adim, una transmitancia de  $(89,0 \pm 0,5)$  % y una composición de 94,15 % de tolueno, las cuales son características muy similares a las reactivo empleado en el LFQ, indicando así, que este último tiene una mayor pureza que el recuperado mediante el sistema de recuperación con recirculación.
- Para lograr la adsorción de ácido acético sobre carbón activado y obtener una disminución notable en el número de moles, se requiere la preparación de soluciones con concentraciones muy bajas del ácido, comprendidas en un rango según lo encontrado, que va desde  $(0,0091 \pm 0,0001)$  hasta  $(0,0007 \pm 0,0001)$  mol/L.
- La evaporación de 500 mL de una solución de ácido oxálico filtrado para concentrar el ácido, no es un proceso viable para recuperar dicho reactivo, ya que el aumento en la concentración y el volumen obtenido es poco significativo, requiriendo además,



de mucho tiempo para la ejecución del proceso, mayor gasto de energía eléctrica y tiempo invertido en mano de obra innecesaria.

- Considerando los materiales y equipos pertenecientes al LFQ y LQA, el costo inicial total para implementar las alternativas propuestas, es de tan sólo 2.532,89 \$, siendo superado en gran medida por los ahorros obtenidos, ya que en el primer año de la implementación dicho valor tendría un aproximado de 91.090,2\$.
- El manejo adecuado de los residuos líquidos generados en el LFQ implica un costo adicional a los costos que normalmente tiene el laboratorio, pero tiene un impacto favorable sobre el ambiente y los seres vivos, por lo que esta medida debe anteponerse a las necesidades económicas del laboratorio y la universidad.



## RECOMENDACIONES

- Es necesaria la creación de un cuarto de reactivos en el LFQ, para que el personal que en el labora, profesores, técnico, preparadores y estudiantes, no se encuentren en contacto directo con las sustancias almacenadas, tanto las que serán empleadas en las prácticas, como las de uso poco frecuente.
- Los residuos generados en cada práctica, deben ser almacenados en envases aptos para cada tipo, dependiendo de las características propias de los mismos, para evitar algún tipo de derrame o simplemente su deterioro y que no puedan ser recuperados y reutilizados en el futuro.
- Se deben elaborar y difundir los lineamientos de política ambiental de la facultad ingeniería química de la Universidad de Carabobo, que permitan el manejo adecuado de los residuos químicos que se generan en los laboratorios de enseñanza e investigación, mediante los cuales se induzcan cambios de actitud en la comunidad universitaria con el propósito de disminuir la contaminación del medio ambiente y se concientice a los alumnos de la difícil situación que presenta la universidad para suministrar los insumos necesarios a todas las dependencias de la misma, en especial al LFQ, que es donde se está llevando a cabo el estudio.
- Al utilizar pH-metros digitales para realizar las mediciones de pH tanto a los residuos generados como a cualquier otra sustancia analizada, calibrarlos con soluciones buffer con pH cercanos a cero (0) y superiores a diez (10), para obtener valores más exactos para las muestras muy ácidas o básicas.
- Es apremiante la creación de la bolsa de residuos químicos de la facultad de ingeniería química, como un sistema de información, mediante el cual los laboratorios puedan ofertar y demandar los residuos disponibles con la finalidad de reaprovecharlos, evitando su disposición inadecuada.



- Implementación de diversos procedimientos de chequeo para profesores y estudiantes que realizan investigaciones en el LFQ, para asegurar que todos los reactivos, materiales, equipos y residuos químicos generados serán removidos del laboratorio previo a la salida de la persona del mismo.
- Realizar estudios individuales enfocados en un solo tema de los tratados en esta investigación, como la fotocatalisis heterogénea, sistema de recuperación de tolueno con recirculación, adsorción de ácido acético sobre carbón activado, etc., que permitan optimizar los resultados para cada uno de ellos, estudiando por ejemplo, en el caso de la oxidación fotocatalítica, diferentes parámetros que afectan el proceso, como: pH, temperatura, diseño del reactor, régimen de flujo y agentes oxidantes que puedan mejorar la reacción, considerando la concentración de la fenolftaleína presente en los residuos generados en el LFQ.
- Una vez culminado el proceso fotocatalítico, el  $\text{TiO}_2$  puede ser recuperado mediante centrifugación en el Laboratorio de Alimentos o mediante filtración con una membrana miliporo de  $0,45 \mu\text{m}$  para ser reutilizado en otro proceso de oxidación.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altomare, V., Alvarado, C., Araneda, R., Correia, A., Fernández, C. y Rodríguez, M. (2009). *Guía de Prácticas del Laboratorio de Química Orgánica*. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.
- Beneditti, S. (2009). *Diseño de un plan para la implementación de la norma ISO 14001 en KNO Environmental Solutions Ltda.* [Resumen en línea]. Trabajo de grado no publicado, Universidad de América de Bogotá. Disponible: [http://200.74.150.71/F/DJP3IC6BAH1UF2JXHNXGA7UC5N5D76C97GVXUUBPAPRBBL15AR-3545\\_8?func=full-set-set&set\\_number=088058&set\\_entry=000006&format=999](http://200.74.150.71/F/DJP3IC6BAH1UF2JXHNXGA7UC5N5D76C97GVXUUBPAPRBBL15AR-3545_8?func=full-set-set&set_number=088058&set_entry=000006&format=999) [Consulta: 2010, Enero 12]
- Camacho J., Colmenares M., Finol J., López Z., Lujano E. y Zambrano D. (2008). *Guía digital de prácticas del Laboratorio de Fisicoquímica*. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.
- Castellan, G. (1983). *Fisicoquímica*. (2da. Edición en Español de la 3era. ed. en inglés; M. Costas Bastín y C. Amador Bedolla, trad.). Estados Unidos: Addison-Wesley Publishing Company, Inc. (Trabajo original publicado en 1974).
- Cisterna, P., Peña Daisy. (s.f.). *Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región*. VIII Región del Biobío, Chile.
- Clavero, J., Ysern, P. (1998). *NTP 480: La gestión de los residuos peligrosos en los laboratorios universitarios y de investigación* [Documento en línea]. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Disponible: [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp\\_480.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_480.pdf) [Consulta 2010, Marzo 12]



- Cienytech Ciencia y Tecnología. (2003). [Página web en línea]. Disponible: <http://www.cienytech.com/GA/default.htm> [Consulta: 2010, Marzo 15]
- Farrington, D., Alberty, R. (1973). *Fisicoquímica*. (2da. ed.). México. Compañía Editorial Continental, S.A.
- Gadea, E. (1994). *NTP 359: Seguridad en el laboratorio: gestión de residuos tóxicos y peligrosos en pequeñas cantidades* [Documento en línea]. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Disponible: [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp\\_359.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_359.pdf) [Consulta: 2010, Marzo 12]
- Garcés, L., Peñuela, G. (2005). *Cinética de degradación y mineralización del colorante Naranja Reactivo 84 en aguas*. Revista Lasallista de Investigación. [Revista en línea]. Disponible: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/695/69520205.pdf> [Consulta: 2010, Mayo 10]
- Gestion-calidad consulting. (2009). [Página web en línea]. Disponible: <http://www.gestion-calidad.com/archivos%20web/tratamientos-residuos.pdf> [Consulta: 2010, Marzo 12]
- Green, D. W., Maloney, J. O. & Perry, R. H. (2000). *Perry Manual del Ingeniero Químico*. (6ta. ed.) Tomo I. México: Mc Graw-Hill.
- Instituto de Educación Superior Juana de Pimentel. (2005). [Página web en línea]. Disponible: <http://www.jpimentel.com/> [Consulta: 2010, Marzo 24]
- Ksibi M., Zemzem A., Boukchina R. (2003). Photocatalytic Degradability of Substituted Phenols Over UV Irradiated TiO<sub>2</sub>. *Journal of Photochemistry and Photobiology*



- Laboratorio de Química Ambiental Ideam. (1997). *Conductividad*. [Documento en línea] Disponible: [http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis\\_De\\_Aguas/CONDUC TIVIDAD.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/CONDUC TIVIDAD.htm) [Consulta: 2010, Marzo 12]
- Laguna, W., Rubiano, C. (2004). Estudio sobre las posibilidades de aplicación de la fotocatalisis heterogénea a los procesos de remoción de fenoles en medio acuoso [Resumen en línea]. Trabajo de Grado no publicado, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Disponible: <http://www.monografias.com/trabajos21/foto catalisis-heterogenea/fotocatalisis-heterogenea2.shtml> [Consulta: 2010, Julio 25]
- Levine, I. (1990). *Fisicoquímica*. (3era. ed.). España. Mc Graw-Hill.
- Ley de Aguas. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 38.595, Enero 2, 2007.
- Ley Orgánica del Ambiente. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 5.833 (Extraordinario), Diciembre 22, 2006.
- Ley Penal del Ambiente. Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 4.358 (Extraordinario), Enero 3, 1992.
- Ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 5.554 (Extraordinario), Noviembre 13, 2001.
- Leyva E., Moctezuma E., Ruíz M.G., Torres-Martínez L. (1998) Photodegradation of Phenol and 4-Chlorophenol by BaO-Li<sub>2</sub>O-TiO<sub>2</sub> Catalysts. *Catalysis Today*
- Loayza, J. (Julio, 2005). *Boletín Informativo sobre Productos y Residuos Químicos*. FQIQ. UNMSM. Lima. Año 1 N° 3. [Revista en línea]. Disponible: [http://www.unm sm.edu.pe/quimica/ing%20loayza/BOLETIN\\_3.pdf](http://www.unm sm.edu.pe/quimica/ing%20loayza/BOLETIN_3.pdf). [Consulta: 2010, Marzo 12]



- Loayza, J. (Abril, 2007). *Boletín Informativo sobre Productos y Residuos Químicos*. FQIQ. UNMSM. Lima. Año 3 N° 24. [Revista en línea]. Disponible: [http://www.unmsm.edu.pe/quimica/ing%20loayza/BOLETIN\\_24.pdf](http://www.unmsm.edu.pe/quimica/ing%20loayza/BOLETIN_24.pdf). [Consulta: 2010, Marzo 12]
- Loayza, J. (Octubre, 2008). *Boletín Informativo sobre Productos y Residuos Químicos*. FQIQ. UNMSM. Lima. Año 4 N° 42. [Revista en línea]. Disponible: [http://www.unmsm.edu.pe/quimica/ing%20loayza/BOLETIN\\_42.pdf](http://www.unmsm.edu.pe/quimica/ing%20loayza/BOLETIN_42.pdf). [Consulta: 2010, Marzo 12]
- López, M. (2007). *Tamaño y localización*. [Documento en línea]. Disponible: <http://es.scribd.com/doc/51744888/localizacion-de-planta> [Consulta: 2010, Marzo 10]
- NCR: 212 Calidad del agua para laboratorios de prueba (N° 25187 -MEIC), Costa Rica. (1996, Junio 17). [Documento en línea]. Disponible: <http://www.reglatec.go.cr/decretos/25187.pdf> [Consulta: 2011, Febrero 10]
- Normas COVENIN-ISO 14040, Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y Estructura, Fondonorma 1999.
- Normas sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente. (Decreto N° 1.257). Marzo 13, 1996.
- Mera, A. (s.f.). *Fotocatálisis heterogénea para el tratamiento de desechos químicos con presencia de indicadores ácido-base* [Documento en línea]. Ponencia presentada en el Congreso Internacional Gestión Sostenible del Agua: Reutilización, Tratamiento y Evaluación de la Calidad, Medellín. Disponible: <http://congreso.tecspar.org/Documentos/A%20Mera%20Benavides%20Fotocatalisis%20heterogenea%20para%20el%20tratamiento%20de%20desechos%20quimicos.pdf> [Consulta: 2010, Mayo 12]
- Maron, S. y Prutton, C. (1999). *Fundamentos de Fisicoquímica*. (1era. ed.) Balderas, México. Editorial Limusa, S. A.



- Mexichem. (2010). [Página web en línea]. Disponible: <http://www.mexichem.com.mx/>  
[Consulta: 2010, Marzo 10]
- Ortiz, S. (2009). *Propuesta de alternativas para el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos no peligrosos en Venezuela aplicando análisis de ciclo de vida y criterios relevantes integrados*. Trabajo de grado de Maestría no publicado. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.
- Osicka, R., Benitez, M., Blanes, P., Herrera A., Carlos E. y Giménez, M. (2005). *Guía para el manejo de residuos químicos en el laboratorio*. [Documento en línea]. Disponible:<http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2005/8-Exactas/E-048.pdf>. [Consulta: 2010, Enero 24]
- Peiro A., Ayllón J., Peral José, Doménech X. (2001). TiO<sub>2</sub>-Photocatalyzed Degradation of Phenol and Ortho-substituted Phenolic Compounds. *Applied Catalysis B: Environmental*
- Pérez C. y Torres L. (2005). *Lineamientos metodológicos para la recolección y elaboración del plan de trabajo*. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.
- Quiored, (2003). [Página web en línea]. Disponible: <http://www.ugr.es/~quiored/>  
[Consulta: 2011, Marzo 15]
- Romero, B. (2003). *El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental*. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd29/tend.pdf> [Consulta: 2010, Febrero 20]
- Romero, N. (2009). *Desarrollo de un algoritmo para la síntesis de secuencias de separación por destilación azeotrópica para mezclas binarias, caso de estudio 1-pentanol-ácido acético* [Resumen en línea]. Trabajo de grado no publicado, Universidad de América de Bogotá. Disponible: <http://200.74.150.71/F/DJP3IC6BA>



H1UF2JXHNXGA7UC5N5D76C97GVXUUBPAPRBBL15AR-36371?func=find-b&request=desarrollo+de+un+algoritmo&find\_code=WRD&adjacent=N&x=0&y=0&filter\_code\_1=WLN&filter\_request\_1=SPA&filter\_code\_2=WYR&filter\_request\_2=2009&filter\_code\_3=WYR&filter\_request\_3=&filter\_code\_4=WFM&filter\_request\_4=&filter\_code\_5=WSL&filter\_request\_5= [Consulta: 2010, Enero 12]

Salaices M., Serrano B., Lasa H.I. (2004). Photocatalytic Conversión of Phenolic Compounds in Slurry Reactors. *Chemical Engineering Science*

Salas, J., Quesada, H., Harada, K. (2009). *Manejo de desechos peligrosos en los laboratorios del Instituto Tecnológico de Costa Rica (III Fase)*. Tecnológico de Costa Rica. [Documento en línea]. Disponible: [http://www.tec.cr/sitios/Vice-rectoria/vie/editorial\\_tecnologica/Revista\\_Tecnologia\\_Marcha/pdf/tecnologia\\_marcha\\_22-1/36-49.pdf](http://www.tec.cr/sitios/Vice-rectoria/vie/editorial_tecnologica/Revista_Tecnologia_Marcha/pdf/tecnologia_marcha_22-1/36-49.pdf). [Consulta: 2010, Marzo 24]

Secretaría del medio ambiente y recursos naturales de México. (2010). [Página web en línea]. Disponible: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/Materiales%20y%20Actividades%20Riesgosas/materiales/peligrosidad.pdf> [Consulta: 2010, Febrero 21]

Textoscientificos.com. (2006). [Página web en línea]. Disponible: <http://www.textoscientificos.com/quimica/carbon-activo> [Consulta: 2010, Octubre 15]

Terra.org. (2005). [Página web en línea]. Disponible: <http://www.terra.org/articulos/art01206.html> [Consulta: 2010, Octubre 15]

Water treatment solutions Lenntech. (2009). [Página web en línea]. Disponible: <http://www.lenntech.es/> [Consulta: 2010, Marzo 10]



- Winkler Ltda. Hoja de seguridad: Ácido acético glacial. (s.f.). [Documento en línea].  
Disponible: <http://www.winklerltda.com/details.php?id=1355&dt=1&np=1> [Consulta: 2010, Mayo 18]
- Winkler Ltda. Hoja de seguridad: Ácido clorhídrico 0.01N. (s.f.). [Documento en línea].  
Disponible: <http://www.winklerltda.com/details.php?id=980&dt=1&np=1> [Consulta: 2010, Mayo 18]
- Winkler Ltda. Hoja de seguridad: Ácido oxálico 0,1N. (s.f.). [Documento en línea].  
Disponible: <http://www.winklerltda.com/details.php?id=1006&dt=1&np=1> [Consulta: 2010, Mayo 18]
- Winkler Ltda. Hoja de seguridad: Alcohol etílico. (s.f.). [Documento en línea]. Disponible:  
<http://www.winklerltda.com/details.php?id=1407&dt=1&np=1>[Consulta: 2010, Mayo 18]
- Winkler Ltda. Hoja de seguridad: Cloruro de potasio 0,01M. (s.f.). [Documento en línea].  
Disponible: <http://www.winklerltda.com/details.php?id=1134&dt=1&np=1> [Consulta: 2010, Mayo 18]
- Winkler Ltda. Hoja de seguridad: Cloruro de sodio 0,001N. (s.f.). [Documento en línea].  
Disponible: <http://www.winklerltda.com/details.php?id=1202&dt=1&np=1> [Consulta: 2010, Mayo 18]
- Winkler Ltda. Hoja de seguridad: Fenolftaleína 1% etanol. (s.f.). [Documento en línea].  
Disponible: <http://www.winklerltda.com/details.php?id=1317&dt=1&np=1> [Consulta: 2010, Mayo 18]
- Winkler Ltda. Hoja de seguridad: Hexano. (s.f.). [Documento en línea]. Disponible:  
<http://www.winklerltda.com/details.php?id=1596&dt=1&np=1>[Consulta: 2010, Mayo 18]



- Winkler Ltda. Hoja de seguridad: Hidróxido de sodio 0,02N. (s.f.). [Documento en línea].  
Disponible:<http://www.winklerltda.com/details.php?id=1209&dt=1&np=1> [Consulta: 2010, Mayo 18]
- Winkler Ltda. Hoja de seguridad: Tolueno. (s.f.). [Documento en línea]. Disponible:  
<http://www.winklerltda.com/details.php?id=1816&dt=1&np=1>[Consulta: 2010, Mayo 18]
- Yerga, D (s. f.). *Residuos Químicos en un Laboratorio*. [Documento en línea].  
Disponible: [http://yerga.net/files/residuos\\_quimicos.pdf](http://yerga.net/files/residuos_quimicos.pdf). [Consulta: 2010, Enero 24]



**APÉNDICE A. ENTREVISTAS, OBSERVACIONES Y DATOS EXPERIMENTALES:** A continuación se presentan de forma tabulada, los datos y la información recolectada durante la etapa experimental de la investigación, a fin de dar cumplimiento a los objetivos planteados dentro de la misma.



Tabla A.1. Etapas del ciclo de vida de los reactivos empleados en las prácticas del LFQ

Reactivo	Fabricante	Distribuidor	Usos	¿Lo recuperan? ¿Cómo?	¿Lo reutilizan? ¿Cómo?	¿Lo almacenan? ¿Cómo?	Disposición final
N-hexano	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Fisher Scientific</li> <li>➤ Honeywell</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Didacta C.A.</li> <li>➤ Corporación Científica Venezolana C.A.</li> <li>➤ Equilain S.R.L.</li> <li>➤ Inversiones Davos C.A.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Práctica de equilibrio líquido-vapor</li> </ul>	Si, se recupera mediante destilación	Si, en la misma práctica y como solvente en la práctica de equilibrio sólido- líquido	Si, en envases ámbar	La mayoría se reutiliza, otra se evapora y muy poco va al desagüe
Etanol	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Riedel de Haën</li> </ul>	**	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Práctica de equilibrio líquido-vapor</li> </ul>	Si, se recupera mediante destilación	Si, como solvente en la práctica de equilibrio sólido- líquido	Si, en envases plásticos	La mayoría se reutiliza, otra de evapora y muy poco va al desagüe
Tolueno	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Riedel de Haën</li> </ul>	**	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Práctica de equilibrio líquido-líquido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ El exceso tomado por los alumnos</li> <li>➤ Las fases orgánicas de las mezclas</li> </ul>	No	Si, en envases ámbar	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Va a un estante</li> </ul>
Ácido acético	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sigma-Aldrich</li> </ul>	**	Prácticas de: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Equilibrio líquido-líquido</li> <li>➤ Conductimetría</li> </ul>	Si, el proveniente de la práctica líquido-líquido	No	Si, en envases plásticos o de vidrio	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lo recuperado va a un estante para su posterior neutralización</li> <li>➤ Lo proveniente de conductimetría va al desagüe</li> </ul>

\*\* El distribuidor de los reactivos varía según el precio, calidad y disponibilidad, por lo que puede ser alguno de los mencionados para el n-hexano



**Tabla A.1. Etapas del ciclo de vida de los reactivos empleados en las prácticas del LFQ (continuación)**

Reactivo	Fabricante	Distribuidor	Usos	¿Lo recuperan? ¿Cómo?	¿Lo reutilizan? ¿Cómo?	¿Lo almacenan? ¿Cómo?	Disposición final
Cloruro de potasio	➤ Fisher Scientific	**	➤ Práctica de conductimetría	No	No	No	Va al desagüe
Ácido oxálico	➤ Riedel de Haën	**	➤ Estandarización de soluciones ➤ Práctica de adsorción	No	No	No	Va al desagüe
Hidróxido de sodio	➤ Industrias Químicas ERBA	**	Prácticas de: ➤ Equilibrio líquido-líquido ➤ Calorimetría ➤ Adsorción	Si, sólo el que proviene de la práctica de equilibrio líquido-líquido	No	No	➤ El proveniente de líquido-líquido se neutraliza con ácido acético y va al desagüe ➤ Los derivados de calorimetría y adsorción van directo al desagüe
Fenolftaleína	➤ Riedel de Haën	**	Prácticas de: ➤ Equilibrio líquido-líquido ➤ Calorimetría ➤ Adsorción	No	No	No	Va al desagüe
Ácido clorhídrico	➤ Riedel de Haën	**	➤ Práctica de conductimetría	No	No	No	Va al desagüe
Cloruro de sodio	➤ Riedel de Haën	**	➤ Práctica de conductimetría	No	No	No	Va al desagüe

\*\* El distribuidor de los reactivos varía según el precio, calidad y disponibilidad, por lo que puede ser alguno de los mencionados para el n-hexano



**Tablas A.2. Diagramas del proceso**

**Tabla A.2.1. Calorimetría**

Nombre de la práctica: **Determinación del calor de combustión de una sustancia problema**

Lugar: Laboratorio de fisicoquímica

Profesor encargado: Adrián Sierra

Sección: Viernes en la mañana

Elaborado por: Diosiret Castellanos

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	Actual [ X ] Propuesto [ ]	ANÁLISIS					OBSERVACIONES
		¿Por qué?					
		¿Qué es?	¿Dónde es?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?	
1. Realizar inventario del material a utilizar							
2. Lavar los instrumentos volumétricos a utilizar							
3. Pesar cápsula de bomba calorimétrica limpia y seca							
4. Pesar 1g de ácido benzoico				x			Antes del paso 2
5. Comprimir en forma de pastilla al ác. benzoico con la ayuda del troquel y la prensa							
6. Retirar cuidadosamente la pastilla del troquel							
7. Colocar pastilla en cápsula de la bomba calorimétrica							
8. Pesar cápsula de la bomba con la pastilla							
9. Pesar el hilo de hierro							
10. Colocar cápsula con pastilla en la tapa de la bomba							
11. Realizar conexiones con el hilo hasta los terminales de la bomba calorimétrica				x			Antes del paso10
12. Asegurarse que el hilo toque la pastilla							
13. Asegurarse de no realizar movimientos bruscos							
14. Verificar que la bomba esté limpia y seca				x			Después del paso 9
15. Mantener limpia el área de trabajo							
16. Añadir 1mL de agua destilada al interior de la bomba calorimétrica							

OBSERVACIONES: En la metodología hace falta adicionar el paso del encendido del equipo.



**Tabla A.2.1. Calorimetría (continuación)**

Nombre de la práctica: **Determinación del calor de combustión de una sustancia problema**

Lugar: Laboratorio de fisicoquímica

Profesor encargado: Adrián Sierra

Sección: Viernes en la mañana

Elaborado por: Diosiret Castellanos

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	Actual [ X ] Propuesto [ ]	ANÁLISIS					OBSERVACIONES
		¿Por qué?					
		¿Qué es?	¿Dónde es?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?	
17. Colocar tapa de la bomba y ajustar con las manos							
18. Manipular la bomba con mucho cuidado							
19. Cerciorarse que la tapa esté bien enroscada							
20. Insertar y ajustar conexiones del O <sub>2</sub> a la válvula de la bomba calorimétrica				x			Después del paso 29
21. Abrir un poco la válvula del cilindro de O <sub>2</sub>							
22. Abrir lentamente válvula del manómetro							
23. Cerrar la válvula manométrica al marcar 15 atm							
24. Dejar escapar la presión residual de la manguera							
25. Repetir los pasos 21-24 pero hasta 10 atm							
27. Medir con el cilindro graduado 1,25L de agua				x			Antes del paso 20
28. Verter el agua en la vasija del calorímetro							
29. Introducir la vasija dentro de la camisa calorímetro							
30. Introducir la bomba dentro de la vasija				x			Después del paso 24
31. Conectar electrodos en la bomba calorimétrica							
32. Chequear que el agua no toque contactos eléctricos							

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_



**Tabla A.2.1. Calorimetría (continuación)**

Nombre de la práctica: **Determinación del calor de combustión de una sustancia problema**

Lugar: Laboratorio de fisicoquímica

Profesor encargado: Adrián Sierra

Sección: Viernes en la mañana

Elaborado por: Diosiret Castellanos

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	Actual [ X ] Propuesto [ ]	ANÁLISIS					OBSERVACIONES
		¿Por qué?					
		¿Qué es?	¿Dónde es?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?	
33. Cerrar tapa y bajar termómetro							
34. Hacer funcionar el agitador							
35. Colocar el interruptor del calorímetro en "ON"							
36. Esperar que la temperatura de la camisa y la vasija se igualen							
37. Registrar el valor anterior como inicial							
38. Oprimir el botón de ignición del calorímetro							
39. Leer tiempo y temperatura cada 10s hasta que se mantenga constante (4 ó 5 valores)							
40. Apagar calorímetro							
41. Levantar termómetro y abrir calorímetro							
42. Desconectar los electrodos de la bomba							
43. Sacar la bomba de la vasija							
44. Llevar la bomba hasta la campana extractora							
45. Abrir la válvula y dejar escapar los gases residuales							
46. Abrir con cuidado la bomba calorimétrica							
47. Verificar el tipo de combustión realizada							
48. Recoger restos de pastilla y alambre sin quemar							
49. Pesar restos con ayuda de un vidrio reloj							
50. Lavar la bomba calorimétrica con agua destilada							

OBSERVACIONES: No miden el volumen de agua destilada que utilizan para el lavado de la bomba.



**Tabla A.2.1. Calorimetría (continuación)**

Nombre de la práctica: Determinación del calor de combustión de una sustancia problema

Lugar: Laboratorio de fisicoquímica

Profesor encargado: Adrián Sierra

Sección: Viernes en la mañana

Elaborado por: Diosiret Castellanos

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	Actual [ X ] Propuesto [ ]	ANÁLISIS					OBSERVACIONES
		¿Por qué?					
		¿Qué es?	¿Dónde es?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?	
51. Recolectar agua en un beaker							
52. Tomar una alícuota de 5 mL				x			Tomaron una alícuota de 50 mL aprox.
53. Agregar unas gotas de fenolftaleína							
54. Titular agua recolectada con NaOH							
55. Registrar el volumen de NaOH añadido							
56. Repetir pasos 3-55 para completar 2 corridas							
57. Repetir pasos 3-55 con la muestra problema para 2 corridas							
58. Lavar y ordenar material utilizado							
59. Pedir revisión del material al técnico							
60. Leer presión y temperatura ambiente							
61.							
62.							
63.							
64.							
65.							
66.							
67.							
68.							
69.							
70.							
71.							
72.							

OBSERVACIONES: Forma de titular es inadecuada. Agregan exceso de fenolftaleína para realizar la titulación



**Tabla A.2.2. Equilibrio líquido-vapor**

Nombre de la práctica: Equilibrio líquido-vapor del sistema binario n-hexano-etanol

Lugar: Laboratorio de fisicoquímica

Profesor encargado: Jeaneth Finol

Sección: Viernes en la mañana

Elaborado por: Diosiret Castellanos

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	Actual [ X ] Propuesto [ ]	ANÁLISIS					OBSERVACIONES
		¿Por qué?					
		¿Qué es?	¿Dónde es?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?	
1. Realizar el inventario del material a utilizar							
2. Conectar el refractómetro a fuente de energía							
3. Verificar funcionamiento de la recirculación de agua para enfriamiento del refractómetro							
4. Encender el refractómetro							
5. Encender la balanza digital							
6. Pesar picnómetro vacío							
7. Registrar el valor observado							
8. Medir primeros volúmenes de n-hexano-etanol							
9. Preparar primera solución en picnómetro							
10. Pesar el picnómetro lleno							
11. Limpiar prismas del refractómetro							
12. Esperar que los prismas se sequen					x		No se realiza
13. Colocar una pequeña cantidad de solución en el prisma del refractómetro							
14. Encender la lámpara del refractómetro							
15. Medir el índice de refracción							
16. Registrar el valor medido							
17. Apagar la lámpara del refractómetro							

OBSERVACIONES: toman muestras directamente del recipiente donde está almacenado el reactivo. Para la preparación de la 2da muestra lavaron beaker y no secaron. No manipularon correctamente los instrumentos de vidrio, hubo pérdidas de muestra.



**Tabla A.2.2. Equilibrio líquido-vapor (continuación)**

Nombre de la práctica: Equilibrio líquido-vapor del sistema binario n-hexano-etanol

Lugar: Laboratorio de fisicoquímica

Profesor encargado: Jeaneth Finol

Sección: Viernes en la mañana

Elaborado por: Diosiret Castellanos

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	Actual [ X ] Propuesto [ ]	ANÁLISIS					OBSERVACIONES
		¿Por qué?					
		¿Qué es?	¿Dónde es?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?	
18. Repetir los pasos 8-17 hasta completar el # de soluciones requeridas					X	X	Manipulación de los instrumentos de forma errada
19. Verificar equipo de destilación esté conectado				X			Se realizó después del paso 3
20. Verificar que no existan fugas							
21. Abrir agua de enfriamiento del condensador							
22. Introducir perlas de ebullición en el calderín							
23. Medir 30mL de n-hexano							
24. Transferir n-hexano al calderín							
25. Colocar manta de calentamiento en el nivel 6							
26. Posicionar manta debajo del calderín							
27. Subir manta hasta que haya contacto con el calderín							
28. Esperar que la temperatura sea constante							
29. Registrar el valor de temperatura							
30. Tomar muestra del vapor condensado y líquido del calderín							
31. Medir índice de refracción de ambas muestras							
32. Registrar valores medidos							
33. Bajar la plancha de calentamiento							

OBSERVACIONES: aumentaron la temperatura llevando la perilla hasta 8. No agregaron la cantidad necesaria de etanol para completar 0,6 mL (quedó en la pipeta no fue adicionada). Lavaron el cilindro graduado con agua.



**Tabla A.2.2. Equilibrio líquido-vapor (continuación)**

Nombre de la práctica: Equilibrio líquido-vapor del sistema binario n-hexano-etanol

Lugar: Laboratorio de fisicoquímica

Profesor encargado: Jeaneth Finol

Sección: Viernes en la mañana

Elaborado por: Diosiret Castellanos

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	Actual [ X ] Propuesto [ ]	ANÁLISIS					OBSERVACIONES
		¿Por qué?					
		¿Qué es?	¿Dónde es?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?	
34. Dejar enfriar el calderín hasta que no haya burbujeo							
35. Añadir 0,2mL de etanol al calderín							
36. Subir plancha de calentamiento							
37. Repetir pasos 28-35 añadir 0,4mL de etanol							
38. Repetir pasos 36-37 para 0,6; 0,8; 1, 4 y 8mL etanol							
39. Desmontar equipo de destilación							
40. Colocar en un beaker el líquido del calderín							
41. Tapar el beaker anterior							
42. Curar el calderín con etanol							
43. Montar equipo de destilación							
44. Agregar 30mL de etanol al calderín							
45. Repetir pasos 27-34							
46. Agregar 2mL de solución recuperada							
47. Repetir pasos 28-34							
48. Repetir pasos 46-47 para 4, 6, 8 mL de la solución recuperada							
49. Desmontar equipo de destilación							
50. Apagar refractómetro							
51. Desconectar el refractómetro							
52. Dejar el lugar limpio y ordenado							
53. Pedir revisión del material							
54. Leer presión y temperatura ambiente							

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_



**Tabla A.2.3. Equilibrio líquido-líquido**

Nombre de la práctica: Equilibrio líquido-líquido del sistema ternario ácido acético-agua-tolueno

Lugar: Laboratorio de fisicoquímica

Profesor encargado: Adrián Sierra

Sección: Viernes en la mañana

Elaborado por: Vanessa Rodríguez

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	Actual [ X ] Propuesto [ ]	ANÁLISIS					OBSERVACIONES
		¿Por qué?					
		¿Qué es?	¿Dónde es?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?	
1. Realizar inventario del material a utilizar							
2. Reportar cualquier anomalía en la carpeta							
3. Lavar instrumentos volumétricos a utilizar							
4. Colocar instrumentos lavados en la estufa							
5. Curar instrumentos a utilizar							
6. Llenar 3 buretas con HAc, agua y tolueno respectivamente							
7. Añadir en fiola 1,9 mL de HAc y 18,1 mL de agua					x	x	Agregó un mayor volumen de agua
8. Identificar como fiola A1							
9. Añadir en otra fiola 4,8mL de HAc y 15,2 mL de agua					x	x	Agregó un mayor volumen de agua
10. Identificar como fiola A2							
11. Añadir en fiola 8,7mL de HAc y 11,3 mL de agua							
12. Identificar como fiola A3							
13. Añadir en fiola 11,8mL de HAc y 8,2 mL de agua					x	x	Agregó un mayor volumen de HAc
14. Identificar como fiola A4							
15. Agregar tolueno gota a gota a A1, A2, A3 y A4							
16. Agitar vigorosamente después de cada adición hasta observar una turbidez							
17. Anotar el volumen añadido							

OBSERVACIONES: en el paso 7, no toman en cuenta los volúmenes indicados en la bureta y agregan todo. En el paso 9 igual al 7; cada vez que tienen que agregar un volumen mayor a la capacidad de la bureta se repite esta situación.



**Tabla A.2.3. Equilibrio líquido-líquido (continuación)**

Nombre de la práctica: Equilibrio líquido-líquido del sistema ternario ácido acético-agua-tolueno

Lugar: Laboratorio de fisicoquímica

Profesor encargado: Adrián Sierra

Sección: Viernes en la mañana

Elaborado por: Vanessa Rodríguez

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	Actual [ X ] Propuesto [ ]	ANÁLISIS					OBSERVACIONES
		¿Por qué?					
		¿Qué es?	¿Dónde es?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?	
18. Identificar soluciones como A1', A2', A3' y A4'							
19. Añadir en fiola 1,7mL de HAc y 18,3mL de tolueno							
20. Identificar como fiola C1							
21. Añadir en fiola 4,3mL de HAc y 15,7mL de tolueno							
22. Identificar como fiola C2							
23. Añadir en fiola 8,1mL de HAc y 11,9mL de tolueno							
24. Identificar como fiola C3							
25. Añadir en fiola 11,1mL de HAc y 8,9mL de tolueno							
26. Identificar como fiola C4							
27. Agregar agua gota a gota a C1, C2, C3 y C4							
28. Agitar vigorosamente después de cada adición hasta observar una turbidez							
29. Anotar el volumen añadido							
30. Identificar mezclas como C1', C2', C3' y C4'							
31. Mezclar en embudo a A1', A2', C1' y C2'							
32. Agitar fuertemente para desalojar el aire presente							
33. Rotular la mezcla como 1							
34. Decantar para que las fases se separen							

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_



**Tabla A.2.3. Equilibrio líquido-líquido (continuación)**

Nombre de la práctica: Equilibrio líquido-líquido del sistema ternario ácido acético-agua-tolueno

Lugar: Laboratorio de fisicoquímica

Profesor encargado: Adrián Sierra

Sección: Viernes en la mañana

Elaborado por: Vanessa Rodríguez

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	Actual [ X ] Propuesto [ ]	ANÁLISIS					OBSERVACIONES
		¿Por qué?					
		¿Qué es?	¿Dónde es?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?	
35. Separar las fases descartando la interfase							
36. Repetir los pasos 31-35 con A3', A4', C3' y C4'. Identificar como mezcla 2							
37. Curar y llenar buretas con mezcla 2							
38. Pesar 2 fiolas limpias y secas							
39. Tomar alícuota de 5mL de la fase acuosa mezcla 1							
40. Añadir alícuota en fiola del paso 38							
41. Tomar alícuota de 5mL de la fase orgánica mezcla 1							
42. Añadir alícuota en la fiola 2 del paso 38							
43. Pesar las fiolas de los pasos 40 y 42					x		No pesaron las fiolas
44. Titular alícuota acuosa con NaOH <sub>acuoso</sub>					x		Mala técnica, agregan exceso de NaOH
45. Anotar el volumen de NaOH <sub>acuoso</sub> añadido							
46. Repetir titulación 2 veces más							
47. Titular alícuota orgánica con NaOH <sub>alcohólico</sub>					x		Mala técnica, agregan exceso de NaOH
48. Anotar el volumen de NaOH <sub>alcohólico</sub> añadido							
49. Repetir titulación 2 veces más					x		Mala técnica, agregan exceso de NaOH y fenolftaleína

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_



**Tabla A.2.3. Equilibrio líquido-líquido (continuación)**

Nombre de la práctica: Equilibrio líquido-líquido del sistema ternario ácido acético-agua-tolueno

Lugar: Laboratorio de fisicoquímica

Profesor encargado: Adrián Sierra

Sección: Viernes en la mañana

Elaborado por: Vanessa Rodríguez

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	Actual [ X ] Propuesto [ ]	ANÁLISIS					OBSERVACIONES
		¿Por qué?					
		¿Qué es?	¿Dónde es?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?	
50. Repetir los pasos 37-49 con fases de la mezcla 2							
51. Lavar los instrumentos utilizados							
52. Dejar el lugar limpio y ordenado							
53. Pedir revisión del material a la técnico							
54. Leer presión y temperatura ambiente					x		No se realizó
55.							
56.							
57.							
58.							
59.							
60.							
61.							
62.							
63.							
64.							
65.							
66.							
67.							
68.							
69.							
70.							
71.							
72.							
73.							
74.							

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_



**Tabla A.2.4. Conductimetría**

Nombre de la práctica: Aplicación medidas conductimétricas en la determinación de variables físico- químicas para diferentes electrolitos

Lugar: Laboratorio de fisicoquímica

Profesor encargado: Dayhana Zambrano Sección: Jueves en la mañana

Elaborado por: Vanessa Rodríguez

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	Actual [ X ] Propuesto [ ]	ANÁLISIS					OBSERVACIONES
		¿Por qué?					
		¿Qué es?	¿Dónde es?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?	
1. Realizar inventario del material a utilizar							
2. Lavar y secar el material a utilizar							
3. Medir 19,5 mL de ácido acético glacial							
4. Diluir el ácido acético en balón aforado de 250mL							
5. Homogenizar la solución							
6. Identificar como solución 1					x	x	Identifico como "A"
7. Tomar alícuota de 50 mL de la solución 1							
8. Agregar alícuota en balón aforado de 100 mL							
9. Aforar con agua destilada							
10. Homogenizar la solución							
11. Identificar como solución 2							
12. Repetir pasos 7-10 para alícuotas de 25; 12,5; 6 y 3 mL de la solución 1					x	x	Mala técnica al aforar
13. Identificar como solución 3, 4, 5 y 6 respectivamente							
14. Tomar alícuota de 2 y 1 mL de solución 2					x		Tomó alícuotas de sol A por la 1
15. Agregar cada alícuota en balones de 100mL							
16. Aforar con agua destilada							
17. Homogenizar las soluciones							
18. Identificar como 7 y 8 respectivamente							
19. Medir el volumen de ácido clorhídrico establecido							

OBSERVACIONES: No saben utilizar la propipeta ni la balanza. No están claros en la metodología. No conocen el manejo adecuado de algunos reactivos.



**Tabla A.2.4. Conductimetría (continuación)**

Nombre de la práctica: Aplicación medidas conductimétricas en la determinación de variables físico- químicas para diferentes electrolitos

Lugar: Laboratorio de fisicoquímica

Profesor encargado: Dayhana Zambrano Sección: Jueves en la mañana

Elaborado por: Vanessa Rodríguez

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	Actual [ X ] Propuesto [ ]	ANÁLISIS					OBSERVACIONES
		¿Por qué?					
		¿Qué es?	¿Dónde es?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?	
20. Agregar el HCl en balón aforado de 250mL							
21. Aforar con agua destilada				x	x	Mala técnica, se desechó la solución	
22. Homogenizar la solución							
23. Identificar como solución A				x	x	Identificaron como "1"	
24. Tomar alícuotas de 50; 25; 12,5; 6 y 3 mL de sol A							
25. Colocar c/alícuota en balones aforados de 100mL							
26. Aforar cada balón con agua destilada							
27. Homogenizar las soluciones							
28. Identificar como B, C, D, E y F respectivamente							
29. Preparar recipiente con agua (baño térmico)							
30. Colocar todas las soluciones en baño térmico							
31. Medir temperatura del agua							
32. Conectar el enchufe del conductímetro							
33. Encender el equipo							

OBSERVACIONES: Desechan solución de NaCl por realizar mal el aforo. Se desecharon 25mL de HAc por mal uso de la pipeta y propipeta. Tenían la solución "A" y "1" mal identificadas, lo que puede ocasionar confusiones. En el paso 14 desechó la solución que tomó por equivocación. Desecharon solución diluida de HAc en el paso 12, por mala técnica al aforar.



**Tabla A.2.4. Conductimetría (continuación)**

Nombre de la práctica: **Aplicación medidas conductimétricas en la determinación de variables físico- químicas para diferentes electrolitos**

Lugar: Laboratorio de fisicoquímica

Profesor encargado: Dayhana Zambrano Sección: Jueves en la mañana

Elaborado por: Vanessa Rodríguez

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	Actual [ X ] Propuesto [ ]	ANÁLISIS					OBSERVACIONES
		¿Por qué?					
		¿Qué es?	¿Dónde es?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?	
34. Calibrar utilizando agua destilada							
35. Lavar recipiente donde se medirá la conductancia							
36. Llenar recipiente con la solución menos concentrada							
37. Verificar que el nivel del líquido sea adecuado					x	x	No verificaron el nivel
38. Adecuar escala del conductímetro							
39. Registrar el valor medido							
40. Repetir pasos 35-39 para las soluciones restantes							
41. Repetir pasos 35-40 2 veces más para c/solución							
42. Repetir pasos 35-39 para la solución de KCl							
43. Apagar el equipo					x		No lo desenchufaron
44. Dejar el lugar limpio y ordenado							
45. Pedir revisión del material a la técnico		x					No se realizó
46. Leer presión y temperatura ambiente							
47.							
48.							
49.							
50.							

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



**Tabla A.2.5. Adsorción**

Nombre de la práctica: Adsorción de ácido oxálico sobre carbón activado a partir de soluciones acuosas

Lugar: Laboratorio de fisicoquímica

Profesor encargado: Dayhana Zambrano

Sección: Viernes en la mañana

Elaborado por: Vanessa Rodríguez

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	Actual [ X ] Propuesto [ ]	ANÁLISIS					OBSERVACIONES
		¿Por qué?					
		¿Qué es?	¿Dónde es?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?	
1. Realizar el inventario del material a utilizar							
2. Lavar y secar el material a utilizar				x	x	No lavan ni curan el material	
3. Tomar 3 alíc. 10mL de solución de ác. Oxálico 0,15M					x	Mal uso de la propipeta	
4. Colocar en 3 fiolas de 100mL (1 por fiola)							
5. Titular las alícuotas con NaOH usando fenolftaleína				x	x	Mala técnica. Burbuja en la bureta	
6. Registrar el volumen de NaOH añadidos							
7. Preparar soluciones de 0,12; 0,09; 0,06; 0,03, 0,015M							
8. Identificar las soluciones como 1, 2, 3, 4 y 5							
9. Colocar soluciones preparadas en fiolas de 250mL							
10. Medir 100mL soln. madre y agregar a fiola 250mL		x				No se hizo por falta de reactivo	
11. Pesar 2g de carbón activado							
12. Agregar el carbón activado a una de las fiolas							
13. Verificar que el carbón no esté mucho tiempo al aire					x	Mucho tiempo al aire libre	
14. Repetir los pasos del 11-13 con el resto de las fiolas							
15. Colocar fiolas en equipos de agitación magnética							

OBSERVACIONES: se encontró una bureta casi llena de algún líquido, se presume que sea NaOH. El compañero de laboratorio llegó tarde.



**Tabla A.2.5. Adsorción (continuación)**

Nombre de la práctica: Adsorción de ácido oxálico sobre carbón activado a partir de soluciones acuosas

Lugar: Laboratorio de fisicoquímica

Profesor encargado: Dayhana Zambrano

Sección: Viernes en la mañana

Elaborado por: Vanessa Rodríguez

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	Actual [ X ] Propuesto [ ]	ANÁLISIS					OBSERVACIONES
		¿Por qué?					
		¿Qué es?	¿Dónde es?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?	
16. Colocar agitador magnético en las fiolas							
17. Encender equipos y dejar aproximadamente 45 min							
18. Apagar equipos de agitación							
19. Desmontar equipos (fiola/aparato de agitación)							
20. Filtrar el contenido de la fiola							
21. Desechar los primeros 10mL filtrados							
22. Almacenar los filtrados en 6 beakers							
23. Desechar lo que quede en los filtros							
24. Identificar los beakers con su # respectivo							
25. Colocar en fiola 10mL de solución 1 filtrada							
26. Agregar 2 gotas de fenolftaleína							
27. Titular la solución con NaOH 0,25M							
28. Registrar valor de NaOH añadido							
29. Repetir los pasos desde el 25-28 para solución 1							
30. Repetir los pasos desde el 25-29 para 2, 3, 4, 5 y 6							
31. Dejar lugar de trabajo limpio y ordenado							
32. Pedir revisión de material a la técnico							
33. Leer presión y temperatura ambiente					x		No se realizó

OBSERVACIONES: Desechó solución madre. La solución madre solo se tituló una vez (paso 5), porque no había más solución. Agregan exceso de agua destilada en la titulación al intentar quitar la gotita de NaOH de la punta de la bureta. En las titulaciones se agrega exceso de NaOH y fenolftaleína.



**Tabla A.3. Volúmenes recolectados de los residuos durante período de recolección**

Prácticas	Tipos de residuos	Semana 1		
		Volumen 1 ( $V_1 \pm 5$ ) mL	Volumen 2 ( $V_2 \pm 5$ ) mL	Volumen 3 ( $V_3 \pm 5$ ) mL
Calorimetría	HNO <sub>3</sub> titulado	80	80	115
	NaOH <sub>calorimetría</sub>	45	5	25
Equilibrio líquido-vapor	Exceso de n-hexano	15	10	10
	Exceso de etanol	2 **	20	5
	n-hexano-etanol (calibración)	90	115	130
	Mezcla recuperada	5	3 **	15
Equilibrio líquido-líquido	HAc <sub>liq-liq</sub>	3 **	5	15
	Exceso de tolueno	20	20	25
	Fases no tituladas	65	65	85
	Fases tituladas	210	150	195
	NaOH <sub>acuoso liq-liq</sub>	10	35	20
	NaOH <sub>alcohólico liq-liq</sub>	10	35	25
Conductimetría	NaCl	-	-	-
	HCl <sub>diluido</sub>	585	470	700
	HAc <sub>diluido</sub>	920	830	990
	HAc <sub>conductimetría</sub>	45	35	15
	HCl <sub>conductimetría</sub>	0	55	155
	KCl	60	125	70
Adsorción	Exceso de ácido oxálico	10	15	95
	Ácido oxálico titulado	25	45	0
	Ácido oxálico filtrado	250	230	350
	Ácido oxálico filtrado titulado	490	200	170
	NaOH <sub>adsorción</sub>	35	45	30

\*\* El error de estos valores es igual a  $\pm 0,1$  mL



Tabla A.3. Volúmenes recolectados de los residuos durante período de recolección (continuación)

Prácticas	Tipos de residuos	Semana 2		
		Volumen 1 ( $V_1 \pm 5$ ) mL	Volumen 2 ( $V_2 \pm 5$ ) mL	Volumen 3 ( $V_3 \pm 5$ ) mL
Calorimetría	HNO <sub>3</sub> titulado	110	120	105
	NaOH <sub>calorimetría</sub>	20	50	20
Equilibrio líquido-vapor	Exceso de n-hexano	10	10	25
	Exceso de etanol	60	20	35
	n-hexano-etanol (calibración)	95	85	90
	Mezcla recuperada	35	45	55
Equilibrio líquido-líquido	HAc <sub>liq-liq</sub>	5	3 **	20
	Exceso de tolueno	40	20	10
	Fases no tituladas	25	120	110
	Fases tituladas	210	200	210
	NaOH <sub>acuoso liq-liq</sub>	65	25	55
	NaOH <sub>alcohólico liq-liq</sub>	25	30	15
Conductimetría	NaCl	650	630	650
	HCl <sub>diluido</sub>	-	-	-
	HAc <sub>diluido</sub>	1100	780	1040
	HAc <sub>conductimetría</sub>	10	25	30
	HCl <sub>conductimetría</sub>	-	-	-
	KCl	190	130	120
Adsorción	Exceso de ácido oxálico	1 **	20	25
	Ácido oxálico titulado	45	60	35
	Ácido oxálico filtrado	340	340	325
	Ácido oxálico filtrado titulado	205	195	210
	NaOH <sub>adsorción</sub>	95	55	90

\*\* El error de estos valores es igual a  $\pm 0,1$  mL



Tabla A.3. Volúmenes recolectados de los residuos durante período de recolección (continuación)

Prácticas	Tipos de residuos	Semana 3		
		Volumen 1 ( $V_1 \pm 5$ ) mL	Volumen 2 ( $V_2 \pm 5$ ) mL	Volumen 3 ( $V_3 \pm 5$ ) mL
Calorimetría	HNO <sub>3</sub> titulado	65	45	10
	NaOH <sub>calorimetría</sub>	35	80	40
Equilibrio líquido-vapor	Exceso de n-hexano	10	15	15
	Exceso de etanol	45	40	5
	n-hexano-etanol (calibración)	115	80	130
	Mezcla recuperada	55	45	35
Equilibrio líquido-líquido	HAc <sub>liq-liq</sub>	15	2 **	3 **
	Exceso de tolueno	15	60	5
	Fases no tituladas	85	80	75
	Fases tituladas	100	115	170
	NaOH <sub>acuoso liq-liq</sub>	25	40	15
	NaOH <sub>alcohólico liq-liq</sub>	45	5	40
Conductimetría	NaCl	-	-	-
	HCl <sub>diluido</sub>	640	630	550
	HAc <sub>diluido</sub>	720	1150	850
	HAc <sub>conductimetría</sub>	2 **	15	35
	HCl <sub>conductimetría</sub>	25	25	0
	KCl	65	30	85
Adsorción	Exceso de ácido oxálico	5	50	35
	Ácido oxálico titulado	60	55	15
	Ácido oxálico filtrado	340	300	320
	Ácido oxálico filtrado titulado	200	200	210
	NaOH <sub>adsorción</sub>	25	50	25

\*\* El error de estos valores es igual a  $\pm 0,1$  mL



**Tabla A.4. Temperaturas de los residuos al ser recolectados y al realizar el trasvase**

Prácticas	Tipos de residuos	Semana 1			
		Temperatura 1 (T1 ± 1)°C	Temperatura 2 ( T2 ± 1)°C	Temperatura 3 ( T3 ± 1)°C	Temperatura de trasvase ( T <sub>TRASVASAR</sub> ± 1)°C
Calorimetría	HNO <sub>3</sub> titulado	28	28	27	25
	NaOH <sub>calorimetría</sub>	29	30	28	27
Equilibrio líquido-vapor	Exceso de n-hexano	28	27	28	25
	Exceso de etanol	27	29	28	27
	n-hexano-etanol (calibración)	27	28	28	25
	Mezcla recuperada	29	31	30	26
Equilibrio líquido-líquido	HAc <sub>liq-liq</sub>	29	27	27	26
	Exceso de tolueno	30	27	26	27
	Fases no tituladas	29	27	27	27
	Fases tituladas	39	36	32	27
	NaOH <sub>acuoso liq-liq</sub>	29	29	29	27
	NaOH <sub>alcohólico liq-liq</sub>	24	25	24	26
Conductimetría	NaCl	-	-	-	-
	HCl <sub>diluido</sub>	27	26	26	26
	HAc <sub>diluido</sub>	27	25	28	26
	HAc <sub>conductimetría</sub>	28	29	27	27
	HCl <sub>conductimetría</sub>	26	25	26	27
	KCl	25	25	26	25
Adsorción	Exceso de ácido oxálico	28	28	29	27
	Ácido oxálico titulado	27	26	26	27
	Ácido oxálico filtrado	27	26	27	27
	Ácido oxálico filtrado titulado	28	30	26	26
	NaOH <sub>adsorción</sub>	26	26	25	27



**Tabla A.4. Temperaturas de los residuos al ser recolectados y al realizar el trasvase (continuación)**

Prácticas	Tipos de residuos	Semana 2			
		Temperatura 1 (T1 ± 1)°C	Temperatura 2 ( T2 ± 1)°C	Temperatura 3 ( T3 ± 1)°C	Temperatura de trasvase ( T <sub>TRASVASAR</sub> ± 1)°C
Calorimetría	HNO <sub>3</sub> titulado	28	28	26	26
	NaOH <sub>calorimetría</sub>	30	30	25	27
Equilibrio líquido-vapor	Exceso de n-hexano	28	-	27	28
	Exceso de etanol	26	31	26	28
	n-hexano-etanol (calibración)	27	23	28	26
	Mezcla recuperada	30	36	31	26
Equilibrio líquido-líquido	HAc <sub>liq-liq</sub>	29	25	28	28
	Exceso de tolueno	29	26	28	28
	Fases no tituladas	27	28	26	26
	Fases tituladas	34	31	35	26
	NaOH <sub>acuoso liq-liq</sub>	27	25	27	27
	NaOH <sub>alcohólico liq-liq</sub>	24	20	19	26
Conductimetría	NaCl	26	29	27	28
	HCl <sub>diluido</sub>	-	-	-	-
	HAc <sub>diluido</sub>	26	28	25	27
	HAc <sub>conductimetría</sub>	27	31	27	26
	HCl <sub>conductimetría</sub>	-	-	-	-
	KCl	25	27	29	27
Adsorción	Exceso de ácido oxálico	28	29	26	26
	Ácido oxálico titulado	26	27	27	26
	Ácido oxálico filtrado	27	28	25	27
	Ácido oxálico filtrado titulado	28	30	26	27
	NaOH <sub>adsorción</sub>	25	29	26	27



Tabla A.4. Temperaturas de los residuos al ser recolectados y al realizar el trasvase (continuación)

Prácticas	Tipos de residuos	Semana 3			
		Temperatura 1 ( $T_1 \pm 1$ )°C	Temperatura 2 ( $T_2 \pm 1$ )°C	Temperatura 3 ( $T_3 \pm 1$ )°C	Temperatura de trasvase ( $T_{\text{TRASVASAR}} \pm 1$ )°C
Calorimetría	HNO <sub>3</sub> titulado	24	29	28	27
	NaOH <sub>calorimetría</sub>	25	28	30	29
Equilibrio líquido-vapor	Exceso de n-hexano	25	31	26	29
	Exceso de etanol	26	29	28	28
	n-hexano-etanol (calibración)	27	29	28	27
	Mezcla recuperada	32	43	42	27
Equilibrio líquido-líquido	HAc <sub>liq-liq</sub>	27	30	26	29
	Exceso de tolueno	27	29	27	29
	Fases no tituladas	26	29	26	29
	Fases tituladas	32	35	32	28
	NaOH <sub>acuoso liq-liq</sub>	23	30	29	27
	NaOH <sub>alcohólico liq-liq</sub>	25	25	23	28
Conductimetría	NaCl	-	-	-	29
	HCl <sub>diluido</sub>	24	27	24	28
	HAc <sub>diluido</sub>	26	30	27	28
	HAc <sub>conductimetría</sub>	28	31	27	29
	HCl <sub>conductimetría</sub>	25	29	-	27
	KCl	27	31	26	29
Adsorción	Exceso de ácido oxálico	25	30	25	29
	Ácido oxálico titulado	26	30	26	27
	Ácido oxálico filtrado	25	29	26	29
	Ácido oxálico filtrado titulado	26	29	27	27
	NaOH <sub>adsorción</sub>	26	30	25	27



**Tabla A.5. pH de los residuos al finalizar cada semana del período de recolección**

Prácticas	Tipos de residuos	pH semana 1 (pH 1 ± 0,01) adim	pH semana 2 (pH 2 ± 0,01) adim	pH semana 3 (pH 3 ± 0,01) adim
Calorimetría	HNO <sub>3</sub> titulado	8,04	7,42	7,89
	NaOH <sub>calorimetría</sub>	11,79	12,62	12,39
Equilibrio líquido-vapor	Exceso de n-hexano	-	-	-
	Exceso de etanol	-	-	-
	n-hexano-etanol (calibración)	-	-	-
	Mezcla recuperada	-	-	-
Equilibrio líquido-líquido	HAc <sub>liq-liq</sub>	-	-	-
	Exceso de tolueno	-	-	-
	Fase orgánica no titulada	-	-	-
	Fase acuosa no titulada	-	-	-
	Fase orgánica titulada	-	-	-
	Fase acuosa titulada	-	-	-
	NaOH <sub>acuoso liq-liq</sub>	13,47	13,48	13,50
	NaOH <sub>alcohólico liq-liq</sub>	-	-	-
Conductimetría	NaCl	-	3,01	-
	HCl <sub>diluido</sub>	3,03	-	2,81
	HAc <sub>diluido</sub>	2,66	2,37	2,55
	HAc <sub>conductimetría</sub>	0,48	0	0
	HCl <sub>conductimetría</sub>	2,14	-	2,29
	KCl	6,63	6,36	7,21
Adsorción	Exceso de ácido oxálico	1,46	1,35	3,08
	Ácido oxálico titulado	8,53	10,31	12,84
	Ácido oxálico filtrado	1,98	1,89	1,90
	Ácido oxálico filtrado titulado	8,74	7,84	6,01
	NaOH <sub>adsorción</sub>	12,89	13,32	13,79



**Tabla A.6. Conductancia de los residuos al finalizar cada semana del período de recolección**

Prácticas	Tipos de residuos	Conductancia 1 ( $L1 \pm 1 \cdot 10^{-5}$ ) $\Omega^{-1}$	Conductancia 2 ( $L2 \pm 1 \cdot 10^{-5}$ ) $\Omega^{-1}$	Conductancia 3 ( $L3 \pm 1 \cdot 10^{-5}$ ) $\Omega^{-1}$	Promedio final <b>semana 1</b> ( $L_p \pm 1 \cdot 10^{-5}$ ) $\Omega^{-1}$
Calorimetría	HNO <sub>3</sub> titulado	60·10 <sup>-5</sup>	60·10 <sup>-5</sup>	60·10 <sup>-5</sup>	60·10 <sup>-5</sup>
	NaOH <sub>calorimetría</sub>	264·10 <sup>-5</sup>	261·10 <sup>-5</sup>	259·10 <sup>-5</sup>	261·10 <sup>-5</sup>
Equilibrio líquido-vapor	Exceso de n-hexano	-	-	-	-
	Exceso de etanol	-	-	-	-
	n-hexano-etanol (calibración)	-	-	-	-
	Mezcla recuperada	-	-	-	-
Equilibrio líquido-líquido	HAc <sub>liq-liq</sub>	-	-	-	-
	Exceso de tolueno	-	-	-	-
	Fase orgánica no titulada	-	-	-	-
	Fase acuosa no titulada	-	-	-	-
	Fase orgánica titulada	-	-	-	-
	Fase acuosa titulada	-	-	-	-
	NaOH <sub>acuoso liq-liq</sub>	23000·10 <sup>-5</sup>	22000·10 <sup>-5</sup>	22100·10 <sup>-5</sup>	22400·10 <sup>-5</sup>
NaOH <sub>alcohólico liq-liq</sub>	-	-	-	-	
Conductimetría	NaCl	-	-	-	-
	HCl <sub>diluido</sub>	36·10 <sup>-5</sup>	35·10 <sup>-5</sup>	36·10 <sup>-5</sup>	36·10 <sup>-5</sup>
	HAc <sub>diluido</sub>	83·10 <sup>-5</sup>	83·10 <sup>-5</sup>	82·10 <sup>-5</sup>	83·10 <sup>-5</sup>
	HAc <sub>conductimetría</sub>	15·10 <sup>-5</sup>	16·10 <sup>-5</sup>	16·10 <sup>-5</sup>	15·10 <sup>-5</sup>
	HCl <sub>conductimetría</sub>	353·10 <sup>-5</sup>	350·10 <sup>-5</sup>	354·10 <sup>-5</sup>	352·10 <sup>-5</sup>
	KCl	1098·10 <sup>-5</sup>	1088·10 <sup>-5</sup>	1092·10 <sup>-5</sup>	1093·10 <sup>-5</sup>
Adsorción	Exceso de ácido oxálico	1405·10 <sup>-5</sup>	1426·10 <sup>-5</sup>	1427·10 <sup>-5</sup>	1419·10 <sup>-5</sup>
	Ácido oxálico titulado	616·10 <sup>-5</sup>	615·10 <sup>-5</sup>	615·10 <sup>-5</sup>	615·10 <sup>-5</sup>
	Ácido oxálico filtrado	394·10 <sup>-5</sup>	395·10 <sup>-5</sup>	395·10 <sup>-5</sup>	395·10 <sup>-5</sup>
	Ácido oxálico filtrado titulado	264·10 <sup>-5</sup>	273·10 <sup>-5</sup>	270·10 <sup>-5</sup>	269·10 <sup>-5</sup>
	NaOH <sub>adsorción</sub>	419·10 <sup>-5</sup>	429·10 <sup>-5</sup>	428·10 <sup>-5</sup>	425·10 <sup>-5</sup>



**Tabla A.6. Conductancia de los residuos al finalizar cada semana del período de recolección (continuación)**

Prácticas	Tipos de residuos	Conductancia 1 ( $L_1 \pm 1 \cdot 10^{-5}$ ) $\Omega^{-1}$	Conductancia 2 ( $L_2 \pm 1 \cdot 10^{-5}$ ) $\Omega^{-1}$	Conductancia 3 ( $L_3 \pm 1 \cdot 10^{-5}$ ) $\Omega^{-1}$	Promedio final <b>Semana 2</b> ( $L_p \pm 1 \cdot 10^{-5}$ ) $\Omega^{-1}$
Calorimetría	HNO <sub>3</sub> titulado	35·10 <sup>-5</sup>	34·10 <sup>-5</sup>	34·10 <sup>-5</sup>	34·10 <sup>-5</sup>
	NaOH <sub>calorimetría</sub>	359·10 <sup>-5</sup>	358·10 <sup>-5</sup>	358·10 <sup>-5</sup>	358·10 <sup>-5</sup>
Equilibrio líquido-vapor	Exceso de n-hexano	-	-	-	-
	Exceso de etanol	-	-	-	-
	n-hexano-etanol (calibración)	-	-	-	-
	Mezcla recuperada	-	-	-	-
Equilibrio líquido-líquido	HAc <sub>liq-liq</sub>	-	-	-	-
	Exceso de tolueno	-	-	-	-
	Fase orgánica no titulada	-	-	-	-
	Fase acuosa no titulada	-	-	-	-
	Fase orgánica titulada	-	-	-	-
	Fase acuosa titulada	-	-	-	-
	NaOH <sub>acuoso liq-liq</sub>	24700·10 <sup>-5</sup>	24600·10 <sup>-5</sup>	24800·10 <sup>-5</sup>	24700·10 <sup>-5</sup>
NaOH <sub>alcohólico liq-liq</sub>	-	-	-	-	
Conductimetría	NaCl	65·10 <sup>-5</sup>	65·10 <sup>-5</sup>	65·10 <sup>-5</sup>	65·10 <sup>-5</sup>
	HCl <sub>diluido</sub>	-	-	-	-
	HAc <sub>diluido</sub>	101·10 <sup>-5</sup>	102·10 <sup>-5</sup>	103·10 <sup>-5</sup>	102·10 <sup>-5</sup>
	HAc <sub>conductimetría</sub>	1·10 <sup>-5</sup>	1·10 <sup>-5</sup>	1·10 <sup>-5</sup>	1·10 <sup>-5</sup>
	HCl <sub>conductimetría</sub>	-	-	-	-
	KCl	1164·10 <sup>-5</sup>	1158·10 <sup>-5</sup>	1160·10 <sup>-5</sup>	1160·10 <sup>-5</sup>
Adsorción	Exceso de ácido oxálico	1622·10 <sup>-5</sup>	1611·10 <sup>-5</sup>	1615·10 <sup>-5</sup>	1419·10 <sup>-5</sup>
	Ácido oxálico titulado	709·10 <sup>-5</sup>	703·10 <sup>-5</sup>	709·10 <sup>-5</sup>	707·10 <sup>-5</sup>
	Ácido oxálico filtrado	617·10 <sup>-5</sup>	619·10 <sup>-5</sup>	623·10 <sup>-5</sup>	620·10 <sup>-5</sup>
	Ácido oxálico filtrado titulado	356·10 <sup>-5</sup>	350·10 <sup>-5</sup>	352·10 <sup>-5</sup>	353·10 <sup>-5</sup>
	NaOH <sub>adsorción</sub>	446·10 <sup>-5</sup>	442·10 <sup>-5</sup>	442·10 <sup>-5</sup>	443·10 <sup>-5</sup>



**Tabla A.6. Conductancia de los residuos al finalizar cada semana del período de recolección (continuación)**

Prácticas	Tipos de residuos	Conductancia 1 ( $L1 \pm 1 \cdot 10^{-5}$ ) $\Omega^{-1}$	Conductancia 2 ( $L2 \pm 1 \cdot 10^{-5}$ ) $\Omega^{-1}$	Conductancia 3 ( $L3 \pm 1 \cdot 10^{-5}$ ) $\Omega^{-1}$	Promedio final <b>semana 3</b> ( $L_p \pm 1 \cdot 10^{-5}$ ) $\Omega^{-1}$
Calorimetría	HNO <sub>3</sub> titulado	17·10 <sup>-5</sup>	18·10 <sup>-5</sup>	17·10 <sup>-5</sup>	17·10 <sup>-5</sup>
	NaOH <sub>calorimetría</sub>	410·10 <sup>-5</sup>	407·10 <sup>-5</sup>	406·10 <sup>-5</sup>	408·10 <sup>-5</sup>
Equilibrio líquido-vapor	Exceso de n-hexano	-	-	-	-
	Exceso de etanol	-	-	-	-
	n-hexano-etanol (calibración)	-	-	-	-
	Mezcla recuperada	-	-	-	-
Equilibrio líquido-líquido	HAc <sub>liq-liq</sub>	-	-	-	-
	Exceso de tolueno	-	-	-	-
	Fase orgánica no titulada	-	-	-	-
	Fase acuosa no titulada	-	-	-	-
	Fase orgánica titulada	-	-	-	-
	Fase acuosa titulada	-	-	-	-
	NaOH <sub>acuoso liq-liq</sub>	17800·10 <sup>-5</sup>	17800·10 <sup>-5</sup>	17800·10 <sup>-5</sup>	17800·10 <sup>-5</sup>
NaOH <sub>alcohólico liq-liq</sub>	-	-	-	-	
Conductimetría	NaCl	-	-	-	-
	HCl <sub>diluido</sub>	19·10 <sup>-5</sup>	19·10 <sup>-5</sup>	19·10 <sup>-5</sup>	19·10 <sup>-5</sup>
	HAc <sub>diluido</sub>	94·10 <sup>-5</sup>	91·10 <sup>-5</sup>	94·10 <sup>-5</sup>	93·10 <sup>-5</sup>
	HAc <sub>conductimetría</sub>	-	-	-	-
	HCl <sub>conductimetría</sub>	-	-	-	-
	KCl	1124·10 <sup>-5</sup>	1104·10 <sup>-5</sup>	1115·10 <sup>-5</sup>	1114·10 <sup>-5</sup>
Adsorción	Exceso de ácido oxálico	438·10 <sup>-5</sup>	441·10 <sup>-5</sup>	437·10 <sup>-5</sup>	439·10 <sup>-5</sup>
	Ácido oxálico titulado	321·10 <sup>-5</sup>	321·10 <sup>-5</sup>	322·10 <sup>-5</sup>	321·10 <sup>-5</sup>
	Ácido oxálico filtrado	507·10 <sup>-5</sup>	511·10 <sup>-5</sup>	508·10 <sup>-5</sup>	509·10 <sup>-5</sup>
	Ácido oxálico filtrado titulado	944·10 <sup>-5</sup>	955·10 <sup>-5</sup>	956·10 <sup>-5</sup>	952·10 <sup>-5</sup>
	NaOH <sub>adsorción</sub>	411·10 <sup>-5</sup>	405·10 <sup>-5</sup>	401·10 <sup>-5</sup>	406·10 <sup>-5</sup>



**Tabla A.7. Conductancia de los residuos al finalizar el período de recolección**

Prácticas	Tipos de residuos	Conductancia 1 ( $L1 \pm 1 \cdot 10^{-5}$ ) $\Omega^{-1}$	Conductancia 2 ( $L2 \pm 1 \cdot 10^{-5}$ ) $\Omega^{-1}$	Conductancia 3 ( $L3 \pm 1 \cdot 10^{-5}$ ) $\Omega^{-1}$	Conductancia promedio final ( $L_p \pm 1 \cdot 10^{-5}$ ) $\Omega^{-1}$
Calorimetría	HNO <sub>3</sub> titulado	$42 \cdot 10^{-5}$	$42 \cdot 10^{-5}$	$42 \cdot 10^{-5}$	$42 \cdot 10^{-5}$
	NaOH <sub>calorimetría</sub>	$315 \cdot 10^{-5}$	$316 \cdot 10^{-5}$	$314 \cdot 10^{-5}$	$315 \cdot 10^{-5}$
Equilibrio líquido-vapor	Exceso de n-hexano	-	-	-	$6 \cdot 10^{-7}$ **
	Exceso de etanol	-	-	-	$40 \cdot 10^{-7}$ **
	n-hexano-etanol (calibración)	-	-	-	$120 \cdot 10^{-7}$ **
	Mezcla recuperada	-	-	-	$40 \cdot 10^{-7}$ **
Equilibrio líquido-líquido	HAc <sub>liq-liq</sub>	$604 \cdot 10^{-7}$ **	$592 \cdot 10^{-7}$ **	$579 \cdot 10^{-7}$ **	$592 \cdot 10^{-7}$ **
	Exceso de tolueno	-	-	-	$35 \cdot 10^{-7}$ **
	Fase orgánica no titulada	-	-	-	$2 \cdot 10^{-7}$ **
	Fase acuosa no titulada	-	-	-	$110 \cdot 10^{-5}$
	Fase orgánica titulada	-	-	-	$1 \cdot 10^{-7}$ **
	Fase acuosa titulada	-	-	-	$4300 \cdot 10^{-5}$
	NaOH <sub>acuoso liq-liq</sub>	$21800 \cdot 10^{-5}$	$21800 \cdot 10^{-5}$	$21800 \cdot 10^{-5}$	$21800 \cdot 10^{-5}$
NaOH <sub>alcohólico liq-liq</sub>	-	-	-	$4200 \cdot 10^{-5}$	
Conductimetría	NaCl	$64 \cdot 10^{-5}$	$64 \cdot 10^{-5}$	$64 \cdot 10^{-5}$	$64 \cdot 10^{-5}$
	HCl <sub>diluido</sub>	$27 \cdot 10^{-5}$	$28 \cdot 10^{-5}$	$28 \cdot 10^{-5}$	$28 \cdot 10^{-5}$
	HAc <sub>diluido</sub>	$100 \cdot 10^{-5}$	$100 \cdot 10^{-5}$	$100 \cdot 10^{-5}$	$100 \cdot 10^{-5}$
	HAc <sub>conductimetría</sub>	$11 \cdot 10^{-5}$	$11 \cdot 10^{-5}$	$11 \cdot 10^{-5}$	$11 \cdot 10^{-5}$
	HCl <sub>conductimetría</sub>	$325 \cdot 10^{-5}$	$324 \cdot 10^{-5}$	$325 \cdot 10^{-5}$	$325 \cdot 10^{-5}$
	KCl	$1072 \cdot 10^{-5}$	$1069 \cdot 10^{-5}$	$1065 \cdot 10^{-5}$	$1069 \cdot 10^{-5}$
Adsorción	Exceso de ácido oxálico	$1035 \cdot 10^{-5}$	$1030 \cdot 10^{-5}$	$1031 \cdot 10^{-5}$	$1032 \cdot 10^{-5}$
	Ácido oxálico titulado	$740 \cdot 10^{-5}$	$740 \cdot 10^{-5}$	$740 \cdot 10^{-5}$	$740 \cdot 10^{-5}$
	Ácido oxálico filtrado	$443 \cdot 10^{-5}$	$447 \cdot 10^{-5}$	$452 \cdot 10^{-5}$	$447 \cdot 10^{-5}$
	Ácido oxálico filtrado titulado	$309 \cdot 10^{-5}$	$310 \cdot 10^{-5}$	$309 \cdot 10^{-5}$	$309 \cdot 10^{-5}$
	NaOH <sub>adsorción</sub>	$427 \cdot 10^{-5}$	$426 \cdot 10^{-5}$	$427 \cdot 10^{-5}$	$427 \cdot 10^{-5}$

\*\* El error correspondiente a estos valores es de  $\pm 1 \cdot 10^{-7} \Omega^{-1}$



**Tabla A.8. Volúmenes de titulante agregado al realizar la valoración ácido-base de algunos residuos**

Práctica	Residuo	Alícuota titulada ( $V_{ali} \pm 0,02$ ) mL	Titulante	Volumen de titulante agregado ( $V_{ag} \pm 0,05$ ) mL
Calorimetría	NaOH <sub>calorimetría</sub>	10,00	Ácido oxálico 0,0148N	14,60
				14,60
				14,60
Equilibrio líquido-líquido	HAc <sub>liq-liq</sub>	5,00	NaOH 1,8750N	40,30
				40,40
				40,50
	NaOH <sub>acuoso liq-liq</sub>	10,00	Ácido oxálico 1,4100M	14,50
				14,30
				14,30
	NaOH <sub>alcohólico liq-liq</sub>	10,00	Ácido oxálico alcohólico 1,2225N	23,80
				23,80
				23,80
Conductimetría	HCl <sub>diluido</sub>	10,00	NaOH 0,0225N	0,40
				0,30
				0,40
	HAc <sub>diluido</sub>	10,00	NaOH 1,8750N	2,60
				2,50
				2,60
	HAc <sub>conductimetría</sub>	5,00	NaOH 1,8750N	41,20
				41,30
				41,40
	HCl <sub>conductimetría</sub>	10,00	NaOH 0,0225N	4,00
				4,10
				4,10
Adsorción	Exceso de ácido oxálico	10,00	NaOH 0,5025M	4,00
				4,10
				4,10
	Ácido oxálico filtrado	10,00	NaOH 0,0225N	0,40
				0,40
				0,40
	NaOH <sub>adsorción</sub>	10,00	Ácido oxálico. 1,4100N	1,80
				1,80
				1,80



**Tabla A.9. Índices de refracción leídos para algunos residuos generados en las prácticas realizadas en el LFQ**

<b>Compuesto</b>	<b>Índice de refracción leído (<math>\eta_{\text{leído}} \pm 0,0005</math>) adim</b>
Exceso de n-hexano	1,3620
Exceso de etanol	1,3720
n-hexano-etanol (calibración)	1,3670
Mezcla recuperada	1,3650
HAc <sub>liq-liq</sub>	1,3715
Exceso de tolueno	1,4930
Fases tituladas (fracción orgánica)	1,4930
HAc <sub>conductimetría</sub>	1,3715

**Tabla A.10. Índices de refracción leídos para algunos reactivos empleados en las prácticas realizadas en el LFQ**

<b>Compuesto</b>	<b>Índice de refracción leído (<math>\eta_{\text{leído}} \pm 0,0005</math>) adim</b>
Etanol	1,3620
N-hexano	1,3720
Tolueno	1,4935
Ácido acético	1,3710



**Tabla A.11. Índices de refracción leídos para construir la curva de calibración de la mezcla binaria n-hexano-etanol**

<b>Solución n-hexano % p/p</b>	<b>Volumen etanol (<math>V_E \pm 0,02</math>) mL</b>	<b>Volumen n-hexano (<math>V_H \pm 0,02</math>) mL</b>	<b>Índice de refracción leído (<math>\eta_{leído} \pm 0,0005</math>) adim</b>
0	10,00	0,00	1,3625
10	9,00	1,00	1,3630
20	8,00	2,00	1,3640
30	7,00	3,00	1,3650
40	6,00	4,00	1,3655
50	5,00	5,00	1,3660
60	4,00	6,00	1,3675
70	3,00	7,00	1,3685
80	2,00	8,00	1,3700
90	1,00	9,00	1,3710
100	0,00	10,00	1,3725

**Tabla A.12. Transmitancia del tolueno grado reactivo empleado en el LFQ**

<b>Reactivo</b>	<b>Transmitancia (<math>T \pm 0,5</math>) %</b>	<b>pH (<math>pH \pm 0,001</math>)adim</b>
Tolueno	90,0	5,002



**Tabla A.13. Volúmenes de NaOH agregado por los alumnos en la práctica de calorimetría**

Práctica	Volumen de NaOH agregado al HNO <sub>3</sub> resultado de la combustión del ácido benzoico (V <sub>NaOHbenz</sub> ) mL	Volumen de NaOH agregado al HNO <sub>3</sub> resultado de la combustión de la sustancia desconocida (V <sub>NaOHdesc</sub> ) mL
1	4,50	10,80
	4,60	11,00
2	4,70	19,60
	5,70	20,40
3	4,80	6,50
	4,10	6,20
4	--	--
	--	--
5	5,00	9,50
	5,50	8,30
6	3,50	5,10
	3,10	5,00
7	4,50	12,00
	4,20	11,90
8	9,00	11,30
	7,00	10,40
9	4,10	7,50
	4,40	8,00

**Tabla A.14. Valores necesarios para determinar el volumen de agua utilizada actualmente para el enfriamiento del refractómetro y del condensador**

Equipos	Volumen (V ± 0,5) mL	Tiempo (t ± 0,01) s
Condensador	43,0	1,27
	39,0	1,26
	39,0	1,26
Refractómetro	31,0	3,95
	30,0	3,84
	32,0	3,98



**Tabla A.15. Volúmenes aproximados de tolueno agregados por los alumnos para lograr el punto de turbidez en los sistemas ternarios**

Práctica	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Volumen ( $V_{\text{tol}}$ ) mL	0,90	--	0,10	0,06	0,06	--	1,00	0,10	0,50
	0,60	--	0,10	0,14	0,04	--	1,00	0,20	0,40
	0,40	--	0,20	0,20	0,14	--	1,60	0,30	0,40
	1,30	--	0,40	0,56	0,86	--	3,60	1,10	0,70

**Tabla A.16. Volúmenes de hidróxido de sodio acuoso y alcohólico agregado por los alumnos en las titulaciones de las mezclas ternarias**

Práctica	Volumen de NaOH acuoso agregado en cada titulación ( $V_{\text{NaOHac}}$ ) mL						Volumen de NaOH alcohólico agregado en cada titulación ( $V_{\text{NaOHal}}$ ) mL					
	1	11,2	11,1	10,9	27,0	26,8	27,2	3,4	3,2	2,7	12,9	13,2
2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3	13,0	13,2	13,3	28,0	28,4	28,4	2,1	2,0	2,0	8,4	8,3	8,3
4	21,0	20,3	19,3	27,8	27,2	28,4	3,9	2,2	3,1	10,9	3,2	5,4
5	10,0	10,3	10,2	25,6	25,6	25,9	3,6	3,6	3,5	13,3	13,1	12,3
6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7	9,5	9,6	9,6	26,3	26,5	26,4	1,1	1,2	1,2	8,1	7,2	7,4
8	22,8	11,7	11,2	28,0	28,1	28,1	2,9	1,4	1,4	8,7	8,5	8,5
9	15,5	15,6	15,4	26,3	26,2	26,0	2,2	2,4	2,4	7,9	7,9	5,6

**Tabla A.17. Conductancias medidas al agua destilada durante el período de recolección**

Semana	Conductancias ( $L_{\text{H}_2\text{O}} \pm 1 \cdot 10^{-8}$ ) $\Omega^{-1}$		
1	$131 \cdot 10^{-8}$	$131 \cdot 10^{-8}$	$134 \cdot 10^{-8}$
2	$137 \cdot 10^{-8}$	$139 \cdot 10^{-8}$	$139 \cdot 10^{-8}$
3	$133 \cdot 10^{-8}$	$133 \cdot 10^{-8}$	$134 \cdot 10^{-8}$



**Tabla A.18. Conductancia medida al agua destilada contenida en un cilindro de plástico de 50 mL de capacidad**

Sustancia	Conductancia ( $L_{H_2O_{cil}} \pm 1 \cdot 10^{-8}$ ) $\Omega^{-1}$		
	Agua destilada	$136 \cdot 10^{-8}$	$138 \cdot 10^{-8}$

**Tabla A.19. Volúmenes de hidróxido de sodio agregado por los alumnos en las titulaciones de la práctica de adsorción**

Práctica	Volumen de NaOH agregado en cada titulación ( $V_{NaOH_{ad}}$ ) mL						
	Sol. madre	1	2	3	4	5	6
1	6,0	5,6	4,4	3,2	2,1	1,0	0,4
2	--	--	--	--	--	--	--
3	6,0	4,3	3,4	2,7	1,4	1,3	0,2
4	--	--	--	--	--	--	--
5	5,6	3,8	3,5	3,0	1,9	0,1	0,05
6	6,2	5,4	4,1	2,9	2,0	0,9	0,6
7	10,4	6,8	4,5	3,3	1,7	1,0	0,4
8	--	--	--	--	--	--	--
9	5,8	5,0	4,3	2,5	2,0	1,2	0,7

**Tabla A.20. Transmitancia de las soluciones de fenolftaleína en función de la concentración para la construcción de la curva de calibración**

Muestras	Concentración ( $C_{fenolf} \pm 0,01$ ) ppm	Transmitancia ( $T \pm 0,05$ ) %
1	0,00	100,00
2	22,74	79,00
3	45,49	70,00
4	68,21	64,00
5	90,94	59,00
6	113,67	56,00
7	136,39	50,00
8	159,12	46,00



**Tabla A.21. Transmitancia de las soluciones de fenolftaleína durante la oxidación fotocatalítica en función del tiempo**

<b>Muestras</b>	<b>Tiempo (<math>t \pm 0,5</math>) min</b>	<b>Transmitancia (<math>T \pm 0,05</math>) %</b>
1	0,0	48,00
2	20,0	58,00
3	40,0	69,00
4	60,0	77,00
5	80,0	89,00
6	100,0	95,00
7	120,0	97,00

**Tabla A.22. Volúmenes de titulante agregado en la valoración ácido-base de las soluciones de ácido acético a emplear en la adsorción sobre carbón activado**

<b>Titulante</b>	<b>Solución</b>	<b>Alícuota titulada (<math>V_{ali} \pm 0,05</math>) mL</b>	<b>Volumen de titulante agregado (<math>V_{ag} \pm 0,05</math>) mL</b>
NaOH 0,0225 N	1	10,00	4,00
			4,00
			4,10
	2	30,00	1,70
			1,70
			1,70
	3	30,00	0,90
			1,00
			0,90



**Tabla A.23. Volúmenes de titulante agregado a las soluciones de ácido acético luego de la adsorción sobre carbón activado**

Titulante	Solución	Masa de carbón activado ( $m_{\text{carbón}} \pm 0,001$ ) g	Alícuota titulada ( $V_{\text{ali}} \pm 0,02$ ) mL	Volumen de titulante agregado ( $V_{\text{ag}} \pm 0,05$ ) mL
NaOH 0,0225 N	1	2,002	10,00	1,00
				1,00
				1,00
	2	2,002	10,00	0,12
				0,12
				0,12
NaOH 0,000225 N	3	2,002	10,00	6,20
				6,20
				6,20

**Tabla A.24. pH y conductancias leídas durante la titulación potenciométrica y conductimétrica combinadas**

Volumen de titulante agregado ( $V_{\text{agregado}} \pm 0,05$ ) mL	pH de la solución ( $\text{pH} \pm 0,001$ ) adim	Conductancia leída ( $L_{\text{leída}} \pm 0,000005$ ) $\Omega^{-1}$
0,00	0,895	0,000150
0,20	1,025	0,000120
0,40	1,232	0,000100
0,60	1,453	0,000090
0,80	1,806	0,000080
1,00	2,183	0,000075
1,20	2,804	0,000080
1,40	3,183	0,000085
1,60	3,304	0,000095
1,80	6,946	0,000110
2,00	7,946	0,000120
2,20	8,158	0,000150
2,40	8,256	0,000180
2,60	8,332	0,000200
2,80	8,338	0,000230
3,00	8,366	0,000250
3,20	8,388	0,000280
3,40	8,402	0,000290
3,60	8,442	0,000320
3,80	8,470	0,000340
4,00	8,484	0,000350



**Tabla A.25. Titulación potenciométrica individual para el ácido acético y clorhídrico**

<b>Volumen de titulante agregado (<math>V_{\text{agregado}} \pm 0,05</math>) mL</b>	<b>pH de la solución de ácido acético (<math>\text{pH} \pm 0,001</math>) adim</b>	<b>pH de la solución de ácido clorhídrico (<math>\text{pH} \pm 0,001</math>) adim</b>
0,00	1,900	0,880
0,20	2,200	0,890
0,40	2,567	0,990
0,60	4,210	1,510
0,80	7,385	3,415
1,00	7,988	7,480
1,20	8,138	8,158
1,40	8,126	8,256
1,60	8,212	8,332
1,80	8,238	8,338
2,00	8,266	8,366
2,20	8,288	8,388
2,40	8,302	8,402
2,60	8,342	8,442
2,80	8,370	8,480
3,00	8,384	8,484

**Tabla A.26. Volúmenes de NaOH utilizado para titular la solución de ácido oxálico filtrado luego de la evaporación de agua**

<b>Titulante</b>	<b>Alícuota titulada (<math>V_{\text{ali}} \pm 0,05</math>) mL</b>	<b>Volumen de titulante agregado (<math>V_{\text{ag}} \pm 0,05</math>) mL</b>
NaOH 0,2500 N	30	0,20
		0,20
		0,20



**APÉNDICE B. CÁLCULOS TÍPICOS:** Seguidamente se presentan los modelos matemáticos y cálculos realizados para obtener los resultados requeridos en cada uno de los objetivos planteados en la investigación.



### B.1. Volumen aproximado que se genera de cada residuo en un semestre

Haciendo uso de los volúmenes acumulados durante el período de recolección, mostrados en la tabla 4.1, se estima el volumen de residuo que se genera en un semestre aplicando la siguiente ecuación:

$$V_{semestre} = V_f * N_{cp} * N_{cs} \quad (\text{Ec. B. 1})$$

Donde:

$V_{semestre}$ : Volumen desechado en un semestre, (mL)

$N_{cp}$ : Factor multiplicador que permite contabilizar las prácticas realizadas en una semana, (adim)

$N_{cs}$ : Factor multiplicador que permite contabilizar las semanas durante las que se realizan prácticas en un semestre, (adim)

Sustituyendo los valores correspondientes para el  $\text{HNO}_3$  titulado en la ecuación B.1, se tiene:

$$V_{semestre} = 720\text{mL} * 3\text{adim} * 2\text{adim} = 4.320\text{mL}$$

El cálculo del error viene dado por:

$$\Delta V_{semestre} = \left| \frac{\partial V_{semestre}}{\partial V_f} \right| * \Delta V_f + \left| \frac{\partial V_{semestre}}{\partial N_{cp}} \right| * \Delta N_{cp} * \left| \frac{\partial V_{semestre}}{\partial N_{cs}} \right| * \Delta N_{cs}$$

Como  $N_{cp}$  y  $N_{cs}$  se consideran valores teóricos, sus errores son cero (0), por lo tanto la derivada parcial queda:

$$\Delta V_{semestre} = N_{cp} * N_{cs} * \Delta V_f \quad (\text{Ec. B. 2})$$

Al sustituir, se obtiene:

$$\Delta V_{semestre} = 3\text{adim} * 2\text{adim} * 45\text{mL} = 270\text{mL}$$

Obteniéndose:

$$V_{semestre} = (4320 \pm 270)\text{mL}$$

### B.2. Cálculo de la concentración del $\text{NaOH}_{\text{calorimetría}}$ mediante valoración ácido-base

Para el cálculo de la concentración se utiliza la siguiente ecuación:



$$V_i * C_i = C_j * V_j \quad (\text{Ec. B. 3})$$

Donde:

$C_i$ : Concentración del compuesto "i", (mol/L)

$V_i$ : Volumen del compuesto "i", (mL)

$V_j$ : Volumen del compuesto "j", (mL)

$C_j$ : Concentración del compuesto "j", (mol/L)

Despejando de la ecuación B.3 la concentración de uno de los compuestos y sustituyendo los valores mostrados en la tabla A.8 para el  $\text{NaOH}_{\text{calorimetría}}$ , se obtiene su concentración:

$$V_{\text{NaOH}} = 10 \text{ mL}$$

$$C_{\text{NaOH}} = ?$$

$$V_{\text{Ác.Ox}} = 14,60 \text{ mL}$$

$$C_{\text{Ác.Ox}} = 0,0148 \text{ N}$$

$$C_i = \frac{C_j * V_j}{V_i} = \frac{0,0148 \text{ N} * 14,6 \text{ mL}}{10 \text{ mL}} = 0,021608 \text{ N}$$

El error se calcula como:

$$\Delta C_i = \left| \frac{\partial C_i}{\partial C_j} \right| * \Delta C_j + \left| \frac{\partial C_i}{\partial V_j} \right| * \Delta V_j + \left| \frac{\partial C_i}{\partial V_i} \right| * \Delta V_i$$

Al efectuar las derivadas parciales y sustituyendo, se tiene:

$$\Delta C_{\text{NaOH}} = \left| \frac{V_{\text{Ác.Ox}}}{V_{\text{NaOH}}} \right| * \Delta C_{\text{Ác.Ox}} + \left| \frac{C_{\text{Ác.Ox}}}{V_{\text{NaOH}}} \right| * \Delta V_{\text{Ác.Ox}} + \left| -\frac{C_{\text{Ác.Ox}} * V_{\text{Ác.Ox}}}{(V_{\text{NaOH}})^2} \right| * \Delta V_{\text{NaOH}} \quad (\text{Ec. B. 4})$$

$$\Delta C_{\text{NaOH}} = \left| \frac{14,60 \text{ mL}}{10 \text{ mL}} \right| * 0,0001 \text{ N} + \left| \frac{0,0148 \text{ N}}{10 \text{ mL}} \right| * 0,05 \text{ mL} + \left| -\frac{0,0148 \text{ N} * 14,60 \text{ mL}}{(10 \text{ mL})^2} \right| * 0,02 \text{ mL}$$

$$\Delta C_{\text{NaOH}} = 0,0002632 \text{ N} \cong 0,0003 \text{ N}$$

Por lo tanto, la concentración es:

$$C_{\text{NaOH}} = (0,0216 \pm 0,0003) \text{ N}$$



De la misma forma se realiza el cálculo de las concentraciones para el resto de residuos a los que se les aplican valoraciones ácido-base para caracterizarlos, dichos valores se encuentran expuestos en la tabla 4.2

### B.3. Cálculo del porcentaje de desviación de la concentración del residuo NaOH<sub>calorimetría</sub> respecto a la concentración promedio del reactivo empleado en la práctica

Se calcula mediante la ecuación:

$$\%D = \left| \frac{V_T - V_L}{V_T} \right| * 100 \quad (\text{Ec. B. 5})$$

Donde:

$\%D$ : Porcentaje de desviación, (%)

$V_T$ : Valor teórico de la variable

$V_L$ : Valor obtenido de la de la variable

Al sustituir se tiene:

$$\%D = \left| \frac{(0,0200 - 0,0216)N}{0,0200N} \right| * 100 = 8\%$$

El error de la desviación viene dado por:

$$\Delta\%D = \left| \frac{\partial\%D}{\partial V_T} \right| * \Delta V_T + \left| \frac{\partial\%D}{\partial V_L} \right| * \Delta V_L$$

$$\Delta\%D = \left( \left| \frac{V_L}{V_T^2} \right| * \Delta V_T + \left| \frac{-1}{V_T} \right| * \Delta V_L \right) * 100 \quad (\text{Ec. B. 6})$$

$$\Delta\%D = \left( \left| \frac{0,0216N}{0,0200N^2} \right| * 0,0001N + \left| \frac{-1}{0,0200N} \right| * 0,0003N \right) * 100 = 2,04 \% \cong 2 \%$$

Siendo el porcentaje de desviación:

$$\%D = (8 \pm 2)\%$$

De manera análoga se calculan el resto de los porcentajes de desviación estimados en esta investigación, los cuales se encuentran reflejados en la tabla 4.2.

**B.4. Corrección del índice de refracción para el exceso de etanol**

Haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$\eta_{\text{corregido}} = \eta_{\text{leído}} + (T_{\text{refractómetro}} - T_{\text{ref}}) \times fc_1 \quad (\text{Ec. B. 7})$$

Donde:

$\eta_{\text{corregido}}$ : Índice de refracción corregido, (adim)

$\eta_{\text{leído}}$ : Índice de refracción leído, (adim)

$T_{\text{refractómetro}}$ : Temperatura que indica el refractómetro, (°C)

$T_{\text{ref}}$ : Temperatura a la que desea conocer dicho índice, (°C)

$fc_1$ : Factor de conversión 1,  $\left(0,00035 \frac{\text{adim}}{^\circ\text{C}}\right)$

Para el exceso de etanol el índice de refracción leído es 1,3620; por lo que su índice corregido es:

$$\eta_{\text{corregido}} = 1,3620 \text{adim} + (27 - 28)^\circ\text{C} * 0,00035 \left(\frac{\text{adim}}{^\circ\text{C}}\right)$$

$$\eta_{1\text{corregido}} = 1,36165 \text{adim}$$

El error viene dado por:

$$\Delta\eta_{\text{corregido}} = \left| \frac{\partial\eta_{\text{corregido}}}{\partial\eta_{\text{leído}}} \right| * \Delta\eta_{\text{leído}} + \left| \frac{\partial\eta_{\text{corregido}}}{\partial T_{\text{refractómetro}}} \right| * \Delta T_{\text{refractómetro}} + \left| \frac{\partial\eta_{\text{corregido}}}{\partial T_{\text{ref}}} \right| * \Delta T_{\text{ref}} + \left| \frac{\partial\eta_{\text{corregido}}}{\partial fc_1} \right| * \Delta fc_1$$

$fc_1$ , por ser una constante su error es cero, entonces la ecuación anterior queda:

$$\Delta\eta_{\text{corregido}} = \Delta\eta_{\text{leído}} + |fc_1| * \Delta T_{\text{refractómetro}} + |fc_1| * \Delta T_{\text{ref}} \quad (\text{Ec. B. 8})$$

Sustituyendo los valores respectivos, se tiene:

$$\Delta\eta_{\text{corregido}} = |0,0005 \text{adim}| + \left| 0,00035 \left(\frac{\text{adim}}{^\circ\text{C}}\right) \right| * 1^\circ\text{C} + \left| 0,00035 \left(\frac{\text{adim}}{^\circ\text{C}}\right) \right| * 1^\circ\text{C}$$

$$\Delta\eta_{\text{corregido}} = 0,0012 \text{adim} \cong 0,001 \text{adim}$$



Entonces el índice de refracción corregido queda:

$$\eta_{\text{corregido}} = (1,362 \pm 0,001) \text{adim}$$

De la misma forma se corrigen los índices de refracción para el resto de los residuos a los que se les aplicó refractometría (ver tablas 4.2, C.2 y C.3).

Siendo la desviación del índice de refracción corregido respecto al valor bibliográfico:

$$\%D = (0,08 \pm 0,04)\%$$

### B.5. Cálculo de la composición de n-hexano para la construcción de la curva de calibración

Haciendo uso de la ecuación B.9, se puede obtener la composición de n-hexano presente en la mezcla binaria de calibración del equilibrio líquido-vapor.

$$X_H = \frac{\frac{\rho_H * V_H}{PM_H}}{\frac{\rho_H * V_H}{PM_H} + \frac{\rho_E * V_E}{PM_E}} \quad (\text{Ec. B. 9})$$

Donde:

$X_H$ : Composición de n-hexano presente en la mezcla binaria, (adim)

$\rho_H$ : Densidad del n-hexano, (g/mL)

$V_H$ : Volumen del n-hexano, (mL)

$PM_H$ : Peso molecular del n-hexano, (g/mol)

$\rho_E$ : Densidad del etanol, (g/mL)

$V_E$ : Volumen de etanol, (mL)

$PM_E$ : Peso molecular del etanol, (g/mol)

Sustituyendo en la ecuación B.9 los datos experimentales mostrados en la tabla A.11 y los bibliográficos reflejados en la tabla D.1, se tiene para  $V_H = 1$  mL lo siguiente:

$$X_H = \frac{\frac{0,659 \text{g/mL} * 1 \text{mL}}{86,17 \text{g/mol}}}{\frac{0,659 \text{g/mL} * 1 \text{mL}}{86,17 \text{g/mol}} + \frac{0,789 \text{g/mL} * 9 \text{mL}}{46,07 \text{g/mol}}} = 0,04727 \text{adim}$$



El error se obtiene como:

$$\Delta X_H = \left| \frac{\partial X_H}{\partial \rho_H} \right| * \Delta \rho_H + \left| \frac{\partial X_H}{\partial V_H} \right| * \Delta V_H + \left| \frac{\partial X_H}{\partial PM_H} \right| * \Delta PM_H + \left| \frac{\partial X_H}{\partial \rho_E} \right| * \Delta \rho_E + \left| \frac{\partial X_H}{\partial V_E} \right| * \Delta V_E + \left| \frac{\partial X_H}{\partial PM_E} \right| * \Delta PM_E$$

$$\Delta X_H = \frac{\left| \frac{\rho_H * PM_H}{(PM_H)^2} * \left( \frac{\rho_H * V_H}{PM_H} + \frac{\rho_E * V_E}{PM_E} \right) - \frac{\rho_H * PM_H}{(PM_H)^2} * \left( \frac{\rho_H * V_H}{PM_H} \right) \right|}{\left( \frac{\rho_H * V_H}{PM_H} + \frac{\rho_E * V_E}{PM_E} \right)^2} * \Delta V_H + \left| \frac{\frac{\rho_H * V_H}{PM_H}}{\left( \frac{\rho_H * V_H}{PM_H} + \frac{\rho_E * V_E}{PM_E} \right)^2} \right| * \Delta V_E$$

(Ec. B. 10)

Sustituyendo en la ecuación los valores correspondientes, queda:

$$\Delta X_H = \frac{\left| \frac{0,659 \text{ g/mL} * 86,17 \text{ g/mol}}{(86,17 \text{ g/mol})^2} * \left( \frac{0,659 \text{ g/mL} * 1 \text{ mL}}{86,17 \text{ g/mol}} + \frac{0,789 \text{ g/mL} * 9 \text{ mL}}{46,07 \text{ g/mol}} \right) - \frac{0,659 \text{ g/mL} * 86,17 \text{ g/mol}}{(86,17 \text{ g/mol})^2} * \frac{0,659 \text{ g/mL} * 1 \text{ mL}}{86,17 \text{ g/mol}} \right|}{\left( \frac{0,659 \text{ g/mL} * 1 \text{ mL}}{86,17 \text{ g/mol}} + \frac{0,789 \text{ g/mL} * 9 \text{ mL}}{46,07 \text{ g/mol}} \right)^2} * 0,01 \text{ mL}$$

$$+ \left| \frac{\frac{0,659 \text{ g/mL} * 1 \text{ mL}}{86,17 \text{ g/mol}}}{\left( \frac{0,659 \text{ g/mL} * 1 \text{ mL}}{86,17 \text{ g/mol}} + \frac{0,789 \text{ g/mL} * 9 \text{ mL}}{46,07 \text{ g/mol}} \right)^2} \right| * 0,02 \text{ mL}$$

$$\Delta X_H = 0,00629 \text{ adim} \cong 0,01 \text{ adim}$$

$$X_H = (0,05 \pm 0,01) \text{ adim}$$

Sin embargo, debido que tanto los volúmenes de n-hexano y etanol, como los valores de  $\Delta V_H$  y  $\Delta V_E$  varían, el error se calcula para cada variación y la medida queda expresada en función del mayor error, por ende:

$$X_H = (0,05 \pm 0,05) \text{ adim}$$

### B.6. Cálculo de la concentración del ácido acético glacial empleado en las prácticas de conductimetría y equilibrio líquido-líquido

El ácido acético empleado en el LFQ posee una concentración de 99,8 % p/v, cuya equivalencia en concentración molar se determina mediante la siguiente ecuación:

$$M = \frac{\% p/v}{PM} * fc2$$

(Ec. B. 11)



Donde:

$M$ : Concentración molar, (mol/L)

$\% P/v$ : Concentración en porcentaje peso-volumen, (gsto/mL solución)

$PM$ : Peso molecular, (g/mol)

$fc2$ : Factor de conversión 2, (1000 mL/1L)

Sustituyendo los valores respectivos, se obtiene:

$$M = \frac{\frac{99,8g}{100 mL}}{\frac{60,05 g}{1 mol}} * \frac{1000 mL}{1 L} = 16,61948 \text{ mol/L}$$

Debido a que las variables involucradas en la ecuación se consideran bibliográficas, el error de la magnitud calculada es cero (0), por lo que queda:

$$M = 16,6 \text{ mol/L}$$

### **B.7. Volumen de HNO<sub>3</sub> minimizado en un semestre al aplicar los cambios realizados a la metodología de calorimetría (considerando sólo la combustión del ácido benzoico)**

Debido que los moles de HNO<sub>3</sub> contenidos en la bomba son los mismos, al variar la cantidad de agua para el lavado de la bomba, el volumen empleado de hidróxido de sodio en la titulación es el mismo, aún cuando la concentración de ácido en el agua aumenta.

Por lo que en los dos (2) casos planteados a continuación, el volumen de hidróxido de sodio se considera igual al volumen promedio agregado para titular el HNO<sub>3</sub> resultado de la combustión del ácido benzoico, es decir:

$$V_{NaOH} = 4,90mL$$

El volumen de fenolftaleína utilizado en una titulación viene dado por:

$$V_{fenolf} = N^{\circ}_{gotas} * fc_3 \quad (\text{Ec. B. 12})$$

Donde:

$V_{fenolf}$ : Volumen de fenolftaleína, (mL)



$N^{\circ}_{gotas}$ : Número de gotas de fenolftaleína utilizada por muestra, (gotas)

$fc_3$ : Factor de conversión 3,  $\left(\frac{1mL}{20gotas}\right)$

Sabiendo que con sólo una (1) o dos (2) gotas de fenolftaleína se logra el cambio de coloración deseado, se tiene que al tomar  $N^{\circ}_{gotas} = 2$ , el volumen de fenolftaleína agregado sería:

$$V_{fenolf} = 2gotas * \left(\frac{1mL}{20gotas}\right) = 0,1mL$$

Para calcular el volumen total de residuo generado, se utiliza:

$$V_t = (V_{HNO_3} + V_{NaOH} + V_{fenolf}) * fc_4 \quad (\text{Ec. B. 13})$$

Donde:

$V_t$ : Volumen total generado por muestra, (mL)

$fc_4$ : Cantidad de veces que se realiza la combustión para un mismo compuesto, (2 adim)

Para el caso 1 ( $V_{HNO_3} = 10mL$ ), se tiene:

$$V_{t1} = (10,0 + 4,90 + 0,1)mL * 2 = 30 mL$$

Mientras que en el caso 2 ( $V_{HNO_3} = 5mL$ ), se tiene:

$$V_{t2} = (5,0 + 4,9 + 0,1)mL * 2 = 20 mL$$

Es decir, aún cuando el volumen de NaOH gastado en la titulación será el mismo independientemente de la cantidad de agua utilizada para el lavado, esta última afecta la sumatoria final de los volúmenes.

Para estimar el volumen de residuo generado al final del semestre se emplea la siguiente ecuación:

$$V_s = V_t * N_{ps} * N_s \quad (\text{Ec. B. 14})$$



Donde:

$V_s$ : Volumen recolectado en un semestre, (mL)

$N_{ps}$ : Número de prácticas realizadas en una semana, (adim)

$N_s$ : Número de semanas durante las cuales se realizan desarrollos experimentales. (adim)

Si el número de prácticas realizadas en una semana son 9 y se realizan durante 6 semanas, queda para el caso 1:

$$V_{S_1} = 30 \text{ mL} * 9 \text{ adim} * 6 \text{ adim} = 1.620 \text{ mL}$$

Y para el caso 2:

$$V_{S_2} = 20 \text{ mL} * 9 \text{ adim} * 6 \text{ adim} = 1.080 \text{ mL}$$

La diferencia entre ambos valores es:

$$Dif = V_{S_1} - V_{S_2} \quad (\text{Ec. B. 15})$$

Donde:

$Dif$ : Diferencia entre el volumen de residuo generado al final del semestre empleando 10 y 5 mL de agua para el lavado de la bomba, (mL)

Sustituyendo queda:

$$Dif = 1.620 \text{ mL} - 1.080 \text{ mL} = 540 \text{ mL}$$

### **B.8. Concentración de la fenolftaleína presente en los residuos provenientes de titulaciones ácido-base**

Como resultado de las observaciones encontradas en el diagnóstico, para realizar este cálculo se supone que todos los alumnos han empleado 3 gotas de fenolftaleína por titulación y sabiendo además, que en la práctica de calorimetría se realizan cuatro (4) valoraciones, se tiene que para el  $\text{HNO}_3$  titulado recolectado la expresión que contabiliza el volumen de fenolftaleína presente es:

$$V_{FF} = N^{\circ}_{gotas} * NR * NP * SR * fc_3 \quad (\text{Ec. B. 16})$$

Donde:

$V_{FF}$ : Volumen de fenolftaleína presente en el  $\text{HNO}_3$  recolectado, (mL)

$NR$ : Número de titulaciones realizadas en calorimetría, (adim)



*NP*: Número de prácticas en las que realiza la recolección por semana, (adim)

*SR*: Número de semanas de recolección, (adim)

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación B.16, queda:

$$V_{FF} = 3\text{gotas} * 4\text{adim} * 3\text{adim} * 3\text{adim} * \left(\frac{1\text{mL}}{20\text{gotas}}\right) = 5,4\text{mL}$$

Por lo tanto, asumiendo que ese es el volumen empleado de una solución de fenolftaleína de concentración  $(0,041 \pm 0,001) M$  (reactivo empleado en el LFQ) para preparar una solución de 720 mL (volumen acumulado de  $\text{HNO}_3$  titulado en el período de recolección), se determina la concentración de esta última por medio de la ecuación B.3, siendo:

$$C_{FF} = \frac{5,4\text{mL} * 0,041M}{720\text{mL}} = 0,0003075M$$

Cuyo error es:

$$\Delta C_{FF} = \frac{5,4\text{mL}}{720\text{mL}} * 0,001M = 0,0000075M \cong 0,00001M$$

Quedando expresada:

$$C_{FF} = (0,00031 \pm 0,00001)M$$

Que llevada a ppm es:

$$C'_{FF} = C_{FF} * PM_{FF} * fc_5 \quad (\text{Ec. B. 17})$$

Donde:

$PM_{FF}$ : Peso molecular de la fenolftaleína, (g/mol)

$fc_5$ : Factor de conversión 5,  $\left(\frac{1000\text{mg}}{1\text{g}}\right)$

Al sustituir queda:

$$C'_{FF} = 0,00031 \frac{\text{mol}}{L} * 318,31 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * \frac{1000\text{mg}}{1\text{g}} = 98,6761 \text{ ppm}$$

Error:

$$\Delta C'_{FF} = PM_{FF} * fc_5 * \Delta C_{FF} = 318,31 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * \frac{1000\text{mg}}{1\text{g}} * 0,00001 \frac{\text{mol}}{L}$$

$$\Delta C'_{FF} = 3,1831 \text{ ppm} \cong 3\text{ppm}$$



Por lo tanto la concentración es:

$$C'_{FF} = (99 \pm 3)ppm$$

Siguiendo el mismo procedimiento para el resto de los residuos provenientes de titulaciones, se tiene que la fracción acuosa de las fases tituladas de la práctica de equilibrio líquido-líquido tienen la mayor concentración de fenolftaleína con:

$$C'_{FF} = (147 \pm 3)ppm$$

### B.9. Número de prácticas a realizar con el volumen recuperado de $\text{NaOH}_{\text{calorimetría}}$

$$N^{\circ}_{prácticas} = \frac{V_{semestre}}{V} \quad (\text{Ec. B. 18})$$

Donde:

$N^{\circ}_{prácticas}$ : Número de prácticas en las que se puede reutilizar el  $\text{NaOH}_{\text{calorimetría}}$  recuperado al aplicar la propuesta, (adim)

$V$ : Volumen aproximado de reactivo gastado por práctica actualmente, (mL)

Sabiendo que el volumen recolectado de  $\text{NaOH}_{\text{calorimetría}}$  por semestre, es  $(1.890 \pm 270)$  mL y empleando el valor mostrado en la tabla del apéndice C.4 para el volumen aproximado de hidróxido gastado por práctica, se obtiene:

$$N^{\circ}_{prácticas} = \frac{1.890\text{mL}}{30,2\text{mL}} = 62,58 \text{ prácticas} \cong 62 \text{ prácticas}$$

De igual forma se determina el número de prácticas en las que pueden ser reutilizados el resto de los hidróxidos recuperados.

### B.10. Volumen de etanol minimizado al aplicar los cambios en la metodología de equilibrio líquido-vapor

Empleando la ecuación expuesta a continuación, se tiene:

$$V_{ms} = V_r * N_{ps} * N_s \quad (\text{Ec. B. 19})$$



Donde:

$V_{ms}$ : Volumen minimizado al finalizar el semestre, (mL)

$V_r$ : Volumen de residuo minimizado por práctica, (mL)

Sustituyendo los valores respectivos se tiene:

$$V_{ms} = 10 \text{ mL} * 9 \text{ adim} * 6 \text{ adim} = 540 \text{ mL}$$

### B.11. Cálculo del volumen de agua que circula en el interior del sistema de enfriamiento de equilibrio líquido-vapor

Considerando las mangueras como un cilindro de gran longitud, el volumen de agua que circula por ella viene dado por la siguiente ecuación:

$$V_{mang} = \pi * R^2 * l * fc_6 \quad (\text{Ec. B. 20})$$

Donde:

$V_{mang}$ : Volumen de agua que circula por la manguera, (mL)

$\pi$ : Relación entre la longitud de una circunferencia y su diámetro, (adim)

$R$ : Radio interior de la manguera, (cm)

$l$ : Longitud de la manguera, (cm)

$fc_6$ : Factor de conversión 6,  $(\frac{1\text{mL}}{1\text{cm}^3})$

Siendo la longitud de la manguera requerida para implementar el sistema 2.070 cm aproximadamente y su radio interno igual a 0,5 cm, se tiene:

$$V_{mang} = \pi * (0,5\text{cm})^2 * 2070\text{cm} * \frac{1\text{mL}}{1\text{cm}^3} = 1625,77419 \text{ mL}$$

El error viene dado por:

$$\Delta V_{mang} = 2 * \pi * R * fc_6 * l * \Delta R + \pi * R^2 * fc_6 * \Delta l \quad (\text{Ec. B. 21})$$

$$\begin{aligned} \Delta V_{mang} &= 2 * \pi * 0,5\text{cm} * \frac{1\text{mL}}{1\text{cm}^3} * 2070\text{cm} * 0,05\text{cm} + \pi * (0,5\text{cm})^2 * \frac{1\text{mL}}{1\text{cm}^3} * 0,05\text{cm} \\ &= 325,19\text{mL} \cong 325\text{mL} \end{aligned}$$

Quedando:

$$V_{mang} = (1.625 \pm 325) \text{ mL}$$



### B.12. Volumen de agua de enfriamiento desechado por práctica en equilibrio líquido-vapor

Haciendo uso de los volúmenes y tiempos expuestos en la tabla del apéndice A.14 y empleando la ecuación B.22 se obtiene el caudal para el agua de enfriamiento del condensador:

$$Q = \frac{\bar{V}_p}{\bar{t}_p} \quad (\text{Ec. B. 22})$$

Donde:

$Q$ : Caudal de agua de enfriamiento por práctica, (mL/s)

$\bar{V}_p$ : Volumen promedio de agua, (mL)

$\bar{t}_p$ : Tiempo promedio, (s)

Sustituyendo:

$$Q = \frac{40,0\text{mL}}{1,26\text{s}} = 31,7460 \frac{\text{mL}}{\text{s}}$$

El error viene dado por:

$$\Delta Q = \frac{\Delta \bar{V}_p}{\bar{t}_p} + \frac{\bar{V}_p * \Delta \bar{t}_p}{(\bar{t}_p)^2} = \frac{0,5\text{mL}}{1,26\text{s}} + \frac{40,0\text{mL} * 0,01\text{s}}{(1,26\text{s})^2} = 0,648\text{mL} \cong 1\text{mL}$$

$$Q = (32 \pm 1) \frac{\text{mL}}{\text{s}}$$

Utilizando la ecuación B.22 y despejando el volumen, se determina la cantidad de agua de enfriamiento utilizada en el condensador durante una práctica, quedando:

$$V_{pi} = Q * t_{pp} * fc_7 * fc_8 \quad (\text{Ec. B. 23})$$

Donde:

$V_{pi}$ : Volumen de agua de enfriamiento utilizada en el equipo durante una práctica, (mL)

$t_{pp}$ : Tiempo de duración de la práctica, (h)

$fc_7$ : Factor de conversión 7,  $\left(\frac{3600\text{s}}{1\text{h}}\right)$

$fc_8$ : Factor de conversión 8,  $\left(\frac{1\text{L}}{1000\text{mL}}\right)$



Sustituyendo:

$$V_{p\ cond} = 32 \frac{mL}{s} * 3h * \left(\frac{3600s}{1h}\right) * \left(\frac{1L}{1000mL}\right) = 345,6L$$

Cuyo error es:

$$\Delta V_{p\ cond} = t_{pp} * fc_7 * fc_8 * \Delta \bar{Q}_p \quad (\text{Ec. B. 24})$$

$$\Delta V_{p\ cond} = 3h * \left(\frac{3600s}{1h}\right) * \left(\frac{1L}{1000mL}\right) * 1 \frac{mL}{s} = 10,8L \cong 11L$$
$$V_{p\ cond} = (341 \pm 11)L$$

De forma análoga se determina el agua de enfriamiento empleada en una práctica en el refractómetro, este valor es:

$$V_{p\ ref} = (86 \pm 2)L$$

Por lo tanto, en una práctica de equilibrio líquido-vapor, el volumen total aproximado desechado de agua de enfriamiento es:

$$V_p = V_{p\ cond} + V_{p\ ref} \quad (\text{Ec. B. 25})$$

Donde:

$V_p$ : Volumen total de agua utilizada actualmente para el enfriamiento del refractómetro y el condensador, (mL)

$$V_p = (341 + 86)L = 427L$$

Quedando:

$$V_p = (429 \pm 13)L$$

Siendo el volumen de agua desechado en un semestre:

$$V_s = 429L * 9adim * 6adim = 23.166L$$

$$\Delta V_s = 9adim * 6adim * 13L = 702L$$

$$V_s = (23.166 \pm 702)L$$



### B.13. Volumen de agua de enfriamiento generado por la práctica de equilibrio líquido-vapor al aplicar la propuesta

Suponiendo que al llevar a cabo la propuesta se desechan aproximadamente 60L de agua por semana, el volumen generado en un semestre se determina mediante la siguiente ecuación:

$$V_{sprop} = V_{ppsem} * N_S \quad (\text{Ec. B. 26})$$

Donde:

$V_{sprop}$ : Volumen de residuo generado en un semestre al llevar a cabo la propuesta, (L)

$V_{ppsem}$ : Volumen propuesto de residuo que se desecha por práctica aproximadamente, (L/práctica)

Al sustituir los valores en la ecuación se tiene:

$$V_{sprop} = 60 \frac{L}{semana} * 6semanas = 360L$$

$$V_{sprop} = 360L$$

Obteniendo un porcentaje de disminución de:

$$P_{dism} = (98,45 \pm 0,05)\%$$

### B.14. Cálculos para obtener los volúmenes necesarios para preparar las soluciones de ácido acético-tolueno que contengan 10, 30, 40 y 60% p/p de ácido acético

Composición peso-peso:

$$\% (p/p)_i = \frac{m_{1i}}{m_{1i} + m_{2i}} * 100 \quad (\text{Ec. B. 27})$$

Donde:

$\% (p/p)_i$ : Composición peso sobre peso de la solución i, (adim)

$m_{1i}$ : Masa del soluto en la solución i, (g)

$m_{2i}$ : Masa del solvente en la solución i, (g)



Sabiendo que:

$$m_j = \rho_j * V_j \quad (\text{Ec. B. 28})$$

Donde:

$m_j$ : Masa del compuesto j, (g)

$\rho_j$ : Densidad del compuesto j, (g/mL)

$V_j$ : Volumen del compuesto j, (mL)

Sustituyendo la ecuación B.28 en B.27, queda:

$$\% \left(\frac{p}{p}\right)_i = \frac{(\rho_1 * V_1)_i}{(\rho_1 * V_1)_i + (\rho_2 * V_2)_i} * 100 \quad (\text{Ec. B. 29})$$

Considerando que:

$$V_2 = 20 \text{ mL} - V_1 \quad (\text{Ec. B. 30})$$

Se sustituye la expresión B.30 en la B.29, se despeja  $V_1$  y se obtiene el volumen necesario para preparar las soluciones:

$$V_1 = \frac{20 * (\% \frac{p}{p})_i * \rho_{2i}}{[100 - (\% \frac{p}{p})_i] * \rho_1 + (\% \frac{p}{p})_i * \rho_{2i}} \quad (\text{Ec. B. 31})$$

Tomando  $(\% \frac{p}{p})_i = 10 \%$  en ácido acético (para la solución ácido acético-tolueno), y haciendo uso de las propiedades fisicoquímicas reportadas en la tabla D.1, se tiene:

$$V_1 = \frac{20 * (10) * (0,860)}{[100 - 10] * (1,0456) + 10 * (0,860)} = 1,6744 \text{ mL}$$

Sustituyendo este valor en la ecuación B.30 se obtiene el volumen de tolueno que debe ser agregado para completar el sistema propuesto, esto es:

$$V_2 = 20 \text{ mL} - 1,67 \text{ mL} = 18,33 \text{ mL}$$

De igual forma se realizan los cálculos para el resto de las composiciones establecidas, tanto para las soluciones de ácido acético-tolueno, como para las de ácido acético-agua, cuyos resultados están expuestos en la tabla C.6.



### B.15. Volumen de NaCl generado al implementar la propuesta

Haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$V_{propuesta\ NaCl} = V_{práctica} * N_{vps} * N_s \quad (\text{Ec. B. 32})$$

Donde:

$V_{propuesta\ NaCl}$ : Volumen generado de NaCl al aplicar la propuesta, (mL)

$V_{práctica}$ : Volumen preparado de las soluciones de NaCl diluidas por práctica, (mL)

$N_{vps}$ : Número de veces a preparar soluciones, (adim)

Al aplicar la alternativa propuesta, se obtiene que el volumen total de las soluciones preparadas por práctica es de 300 mL, las cuales se preparan tres (3) veces en una semana, y debido que el electrolito fuerte se alterna con HCl, las soluciones deben prepararse durante tres semanas, por lo que al sustituir estos valores en la ecuación anterior queda:

$$V_{propuesta\ NaCl} = 300\text{mL} * 3 * 3 = 2700\ \text{mL}$$

Obteniendo un porcentaje de disminución respecto al volumen actual generado de:

$$\%P_{dism} = (84,6 \pm 0,2)\%$$

### B.16. Relación respecto al volumen de agua con la que es desechada la solución de NaCl

$$V_{sal} = m_{sal} * \frac{1}{\rho_{sal}} \quad (\text{Ec. B. 33})$$

Donde:

$V_{sal}$ : Volumen de la sal presente en la solución, (mL)

$m_{sal}$ : Masa de la sal utilizada para preparar la solución, (g)

$\rho_{sal}$ : Densidad de la sal sólida, (g/mL)

$$V_{sal} = 0,146\text{g} * \frac{1\text{mL}}{2,164\text{g}} = 0,067468\text{mL}$$



La relación entre el volumen de la sal en la solución y el volumen de agua, se obtiene mediante la ecuación:

$$R = \frac{V_{sal}}{V_{rp}} \quad (\text{Ec. B. 34})$$

Donde:

$R$ : Relación entre el volumen de la sal y el volumen de agua, (adim)

$V_{rp}$ : Volumen promedio de residuo generado por práctica, (mL)

Quedando para el residuo enviado al desagüe actualmente, lo siguiente:

$$R = \frac{0,067468 \text{ mL}}{640 \text{ mL}} = \frac{1}{9486} \text{ adim}$$

### B.17. Relación respecto al volumen de agua con la que es desechada la solución de KCl

$$V_{sal} = C_{sal} * PM_{sal} * V_{rp} * \frac{1}{\rho_{sal}} \quad (\text{Ec. B. 35})$$

Donde:

$C_{sal}$ : Concentración de la sal utilizada en conductimetría, (mol/L)

$PM_{sal}$ : Peso molecular de la sal, (g/mol)

Sustituyendo en la ecuación B.35 los valores correspondientes al residuo desechado actualmente, se tiene:

$$V_{sal} = 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}} * 74,551 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 0,096\text{L} * \frac{1\text{mL}}{1,987\text{g}} = 0,036018\text{mL}$$

La relación entre el volumen de la sal y el volumen de agua es:

$$R = \frac{0,036018\text{mL}}{96\text{mL}} = \frac{1}{2665} \text{ adim}$$



### B.18. Volumen generado de ácido oxálico titulado llevando a cabo la metodología la propuesta

Aplicando la ecuación B.3 y despejando el volumen respecto al titulante, se tiene:

$$V_{NaOH} = \frac{5mL * 0,15M}{0,25M} = 3mL$$

El residuo generado en una titulación, es la sumatoria de la alícuota de ácido oxálico, el hidróxido gastado en la valoración y la fenolftaleína agregada, esto es  $(8,1 \pm 0,3)$  mL, siendo este el volumen de residuo a generar por práctica.

Empleando la ecuación B.19, se determina el volumen de este residuo a generar en un semestre:

$$V_{sprop} = 8,1mL * 9adim * 6adim = 437,4mL$$

Cuyo error es:

$$\Delta V_{sprop} = 0,3mL * 9adim * 6adim = 16,2mL \cong 16mL$$

Dando como resultado:

$$V_{sprop} = (432 \pm 16)mL$$

Siendo el porcentaje de disminución respecto al volumen generado actualmente:

$$P_{dism} = (80 \pm 1)\%$$

### B.19. Masa de ácido oxálico presente en 300 mL del ácido oxálico filtrado recolectado y en el mismo volumen de una solución de concentración 0,15 M

El número de equivalentes presentes en el ácido oxálico filtrado viene dado por:

$$N^{\circ}eq = N * Vs \quad (\text{Ec. B. 36})$$

Donde:

$N^{\circ}eq$ : Número de equivalentes de soluto, (eq)

$N$ : Concentración normal de la solución, (eq/L)

$Vs$ : Volumen de la solución, (L)



Sustituyendo la concentración del residuo y el volumen promedio recolectado por práctica, se tiene:

$$N^{\circ}eq = 0,0009 \frac{eq}{L} * 0,3L = 0,00027 eq$$

Quedando expresado como:

$$N^{\circ}eq = (0,00027 \pm 0,00003) eq$$

Los moles de ácido oxálico se obtienen mediante la siguiente relación:

$$mol = N^{\circ}eq * Equivalentes \quad (\text{Ec. B. 37})$$

Donde:

*mol*: Moles de soluto, (mol)

*Equivalentes*: Equivalentes presentes en cada mol de soluto, (mol/eq)

$$mol_{\text{ácido oxálico}} = 0,00027eq * \left(\frac{1mol}{2eq}\right) = 0,000135mol$$

Obteniendo:

$$mol_{\text{ácido oxálico}} = (0,00014 \pm 0,00002)mol$$

Los gramos se calculan como se muestra a continuación:

$$g = mol * PM \quad (\text{Ec. B. 38})$$

Donde:

*g*: Gramos de soluto presente en la solución, (g)

$$g_{\text{ácido oxálico}} = 0,00014mol * 90,0216 \frac{g}{mol} = 0,012603g$$

Siendo el error:

$$\Delta g_{\text{ácido oxálico}} = 90,0216 \frac{g}{mol} * 0,00002mol = 0,0018g \cong 0,002g$$

Por lo tanto los gramos de ácido en 300 mL del ácido oxálico filtrado, son:

$$g_{\text{ácido oxálico}} = (0,012 \pm 0,002)g$$

Los gramos de ácido contenidos en 300 mL de una solución de ácido oxálico 0,15 M, vienen dados por la siguiente ecuación:

$$g = C * V_s * PM \quad (\text{Ec. B. 39})$$



Sustituyendo:

$$g_{\text{ácido oxálico}} = 0,15 \frac{\text{mol}}{\text{L}} * 0,3\text{L} * 90,0216 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 4,1\text{g}$$

Cuyo error es:

$$\Delta g_{\text{ácido oxálico}} = 90,0216 \frac{\text{g}}{\text{mol}} * 0,3\text{L} * 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 0,27\text{g} \cong 0,3\text{g}$$

Quedando:

$$g_{\text{ácido oxálico}} = (4,2 \pm 0,3)\text{g}$$

## B.20. Orden de la reacción de la oxidación fotocatalítica de la fenolftaleína

El orden de la reacción se determina observando en cuál de las siguientes ecuaciones la gráfica se ajusta a una línea recta, y de esa gráfica se calcula la constante de velocidad.

Si el orden de la reacción es 1, se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$-(\ln[C] - \ln[C_0]) = k * t \quad (\text{Ec. B. 40})$$

Donde:

$\ln[C]$ : Logaritmo de la concentración, (adim)

$\ln[C_0]$ : Logaritmo de la concentración inicial, (adim)

$k$ : Constante de velocidad, ( $\text{min}^{-1}$ )

$t$ : Tiempo, (min)

Expresada en logaritmos decimales:

$$\log[C] = -(k/2,303) * t + \log[C_0] \quad (\text{Ec. B. 41})$$

Si el orden de la reacción es 2:

$$1/[C] - 1/[C_0] = k * t \quad (\text{Ec. B. 42})$$

Al calcular el logaritmo [base 10] a los valores de concentración de fenolftaleína mostrados en la tabla C.12, se tiene:

$$\log(147,76) = 2,169556 \text{ adim} \cong 2,17 \text{ adim}$$



Se aplica el mismo procedimiento al resto de las concentraciones y se obtienen los resultados expuestos de igual forma en la tabla C.12; posteriormente se grafica el  $\log[C]$  en función del tiempo, dando como resultado la gráfica mostrada en la figura 4.32, a partir de la cual se determina el valor de la constante de velocidad.

### B.21. Construcción de la isoterma de Langmuir

Los moles de ácido acético adsorbidos para cada disolución vienen dados por la siguiente expresión:

$$n_{ads} = n_{antes} - n_{desp} \quad (\text{Ec. B. 43})$$

Donde:

$n_{ads}$ : Moles de ácido acético adsorbidos, (mol)

Sustituyendo los valores respectivos en la ecuación B.43 para la solución 1, se obtiene

$$n_{ads1} = (0,00091 - 0,00023)mol = 0,00068mol$$

El error se calcula como:

$$\Delta n_{ads} = \left| \frac{\partial n_{ads}}{\partial n_{antes}} \right| * \Delta n_{antes} + \left| \frac{\partial n_{ads}}{\partial n_{desp}} \right| * \Delta n_{desp}$$
$$\Delta n_{ads} = \Delta n_{antes} + \Delta n_{desp} \quad (\text{Ec. B. 44})$$

Sustituyendo:

$$\Delta n_{ads1} = (0,00001 + 0,00001)mol = 0,00002mol$$

Quedando:

$$n_{ads1} = (0,00068 \pm 0,00002)mol$$

De forma análoga se repite el procedimiento para las soluciones 2 y 3.

Los moles de ácido adsorbidos por gramo de carbón activado vienen dados por:

$$N = \frac{n_{ads}}{m_{carbón}} \quad (\text{Ec. B. 45})$$

Donde:

$N$ : Moles de ácido adsorbidos por gramo de carbón, (mol/g)

$m_{carbón}$ : Masa de carbón añadido, (g)



Para la solución 1 se tiene lo siguiente:

$$N_1 = \frac{0,00068 \text{ mol}}{2,002 \text{ g}} = 0,00033966 \text{ mol/g}$$

Cuyo error viene dado por:

$$\begin{aligned} \Delta N &= \left| \frac{\partial N}{\partial n_{ads}} \right| * \Delta n_{ads} + \left| \frac{\partial N}{\partial m_{carbón}} \right| * \Delta m_{carbón} \\ &= \left| \frac{1}{m_{carbón}} \right| * \Delta n_{ads} + \left| \frac{n_{ads}}{(m_{carbón})^2} \right| * \Delta m_{carbón} \end{aligned} \quad (\text{Ec. B. 46})$$

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación obtenida, se tiene:

$$\begin{aligned} \Delta N_1 &= \left| \frac{1}{2,002 \text{ g}} \right| * 0,00002 \text{ mol} + \left| \frac{0,00068 \text{ mol}}{(2,002 \text{ g})^2} \right| * 0,001 \text{ g} = 0,00001015 \text{ mol/g} \\ \Delta N_1 &\cong 0,00001 \text{ mol/g} \end{aligned}$$

Entonces:

$$N_1 = (0,00034 \pm 0,00001) \text{ mol/g}$$

Los resultados para las soluciones 2 y 3, se muestran en la tabla 4.20.

La concentración final / número de moles adsorbidos se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C/N = \frac{C}{N} \quad (\text{Ec. B. 47})$$

Donde:

$C/N$ : concentración final / número de moles adsorbidos, (g/L)

$C$ : Concentración de la solución en el equilibrio, (mol/L)

Para la solución 1 se tiene:

$$C/N_1 = \frac{0,0023 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{0,00034 \frac{\text{mol}}{\text{g}}} = 6,7647 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$



El error se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta C/N = \left| \frac{\partial C/N}{\partial C} \right| * \Delta C + \left| \frac{\partial C/N}{\partial N} \right| * \Delta N$$

$$\Delta C/N = \left| \frac{1}{N} \right| * \Delta C + \left| -\frac{C}{N^2} \right| * \Delta N \quad (\text{Ec. B. 48})$$

$$\Delta C/N_1 = \left| \frac{1}{0,00034 \frac{\text{mol}}{\text{g}}} \right| * 0,0001 \frac{\text{mol}}{\text{L}} + \left| -\frac{0,0023 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{\left(0,00034 \frac{\text{mol}}{\text{g}}\right)^2} \right| * 0,00001 \frac{\text{mol}}{\text{g}} = 0,493 \frac{\text{g}}{\text{L}} \cong 0,5 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

Quedando:

$$C/N_1 = (7,0 \pm 0,5) \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

Los resultados para las soluciones 2 y 3 se encuentran expuestos en la tabla 4.20.

La ecuación que rige la isoterma de Langmuir es la siguiente:

$$\frac{C}{N} = \frac{1}{N_T * K} + \frac{C}{N_T} \quad (\text{Ec. B. 49})$$

Donde:

$N_T$ : Número de moles necesarios para cubrir toda la superficie, (mol/g)

$K$ : Constante de adsorción de Langmuir, (L/mol)

Al graficar los valores de  $C/N$  en función de la concentración, se obtiene la siguiente ecuación de la recta:

$$C/N = 788,32 * C + 4,9627$$

Despejando se obtiene:

$$K = 159,92 \text{ (L/mol)}$$

$$N_T = 0,00126 \text{ (mol/g)}$$

La fracción de superficie de adsorbente recubierta por adsorbato se determina mediante la siguiente expresión:

$$\theta = \frac{N}{N_T} \quad (\text{Ec. B. 50})$$

Donde:

$\theta$ : Fracción de superficie de adsorbente recubierta por adsorbato, (adim)



Sustituyendo los datos correspondientes a la solución 1 en la ecuación B.50, se obtiene:

$$\theta_1 = \frac{0,00034 \text{ mol/g}}{0,00126 \text{ mol/g}} = 0,1734 \text{ adim}$$

Cálculo del error de  $\theta$ :

$$\Delta\theta = \left| \frac{\partial\theta}{\partial N} \right| * \Delta N + \left| \frac{\partial\theta}{\partial N_T} \right| * \Delta N_T = \left| \frac{1}{N_T} \right| * \Delta N_{\text{adsorbidos}} + \left| \frac{N_{\text{adsorbidos}}}{(N_T)^2} \right| * \Delta N_T \quad (\text{Ec. B. 51})$$

Sustituyendo:

$$\Delta\theta_1 = \left| \frac{1}{0,00126 \text{ mol/g}} \right| * 0,00001 = 0,00204 \text{ Ptsadim} = 0,00793 \text{ adim} \cong 0,01 \text{ adim}$$

$$\theta_1 = (0,17 \pm 0,01) \text{ adim}$$

De la misma forma se calcula la fracción de superficie de adsorbente recubierta adsorbato para las soluciones 2 y 3, y los resultados se muestran en la tabla 4.20.

## B.22. Cálculos correspondientes a la propuesta de titulación potenciométrica y conductimétrica combinadas

Empleando la ecuación B.66 se corrigen las conductancias leídas durante el desarrollo experimental.

$$L_{\text{corregida}} = \frac{L_{\text{leída}} * (V_{\text{inicial sol}} + V_{\text{agregado}})}{V_{\text{inicial sol}}} \quad (\text{Ec. B. 52})$$

Donde:

$L_{\text{corregida}}$ : Conductancia corregida, ( $\Omega^{-1}$ )

$L_{\text{leída}}$ : Conductancia leída en el conductímetro, ( $\Omega^{-1}$ )

$V_{\text{inicial sol}}$ : Volumen inicial de la solución a utilizar, (mL)

$V_{\text{agregado}}$ : Volumen agregado de NaOH para la valoración, (mL)

Para  $V_{\text{agregado}} = 0,0 \text{ mL}$  y  $L_{\text{leída}} = 0,000150 \Omega^{-1}$ , se tiene:

$$L_{\text{corregida}} = \frac{0,000150 \Omega^{-1} * (200 + 0,00) \text{ mL}}{200 \text{ mL}} = 0,000150 \Omega^{-1}$$



Siendo el error:

$$\Delta L_{\text{corregida}} = \left| \frac{(V_{\text{inicial sol}} + V_{\text{agregado}})}{V_{\text{inicial sol}}} \right| * \Delta L_{\text{leída}} + \left| \frac{L_{\text{leída}}}{V_{\text{inicial sol}}} \right| * \Delta V_{\text{agregado}} \\ + \left| \frac{L_{\text{leída}} * V_{\text{inicial sol}} - L_{\text{leída}} * (V_{\text{inicial sol}} + V_{\text{agregado}})}{(V_{\text{inicial sol}})^2} \right| * \Delta V_{\text{inicial sol}} \quad (\text{Ec. B. 53})$$

Tomando en cuenta que el volumen inicial es de 200 mL y la medición se realiza con una pipeta de 50 mL, por lo que su error aumenta con cada repetición, siendo 0,2 mL el error final de este volumen. Al sustituir los valores expuestos en la tabla A.24, se tiene:

$$\Delta L_{\text{corregida}} = \left| \frac{(200 + 0,00)\text{mL}}{200\text{mL}} \right| * 0,000005\Omega^{-1} + \left| \frac{0,000150\Omega^{-1}}{200\text{mL}} \right| * 0,05\text{mL} \\ + \left| \frac{0,000150\Omega^{-1} * 200\text{mL} - 0,000150\Omega^{-1} * (200\text{mL} + 0,00\text{mL})}{(200\text{mL})^2} \right| * 0,2\text{mL}$$

$$\Delta L_{\text{corregida}} = 0,00000501538 \cong 0,000005\Omega^{-1}$$

$$L_{\text{corregida}} = (0,000150 \pm 0,000005) \Omega^{-1}$$

La primera derivada se calcula haciendo uso de los datos de pH y volúmenes de titulante agregado mostrados en la tabla A.24:

$$\frac{\Delta pH}{\Delta V} = \frac{pH_{l+1} - pH_l}{V_{\text{agregado } l+1} - V_{\text{agregado } l}} \quad (\text{Ec. B. 54})$$

Donde:

$\frac{\Delta pH}{\Delta V}$ : Primera derivada del potencial de acidez,  $\left(\frac{\text{unidades}}{\text{mL}}\right)$

$pH$ : Valor de pH de la solución, (unidades)

$l$ : Posición de las medidas realizadas, (adim)

Para los dos primeros volúmenes agregados se tiene el siguiente potencial:

$$\frac{\Delta pH}{\Delta V} = \frac{(1,025 - 0,895)\text{unidades}}{0,20\text{mL} - 0,00\text{mL}} = 0,65 \frac{\text{unidades}}{\text{mL}}$$



La segunda derivada viene dada por:

$$\frac{\Delta^2 pH}{\Delta V^2} = \frac{(\Delta pH/\Delta V)_{k+1} - (\Delta pH/\Delta V)_k}{V_{agregado\ k+1} - V_{agregado\ k}} \quad (\text{Ec. B. 55})$$

Donde:

$$\frac{\Delta^2 pH}{\Delta V^2}: \text{Segunda derivada del potencial de acidez, } \left(\frac{\text{unidades}}{\text{mL}^2}\right)$$

$k$ : Posición de las medidas realizadas, (adim)

$$\frac{\Delta^2 pH}{\Delta V^2} = \frac{(1,0 - 0,6)\text{unidades/mL}}{0,40\text{mL} - 0,20\text{mL}} = 2 \frac{\text{unidades}}{\text{mL}^2}$$

Los valores de conductancia corregidos, primera y segunda derivadas se encuentran en la tabla C.15.

### B.37. Estudio económico de la investigación realizada

Para la conversión del precio de los equipos que se encuentran en bolívares, a dólares, se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_D = Pr_B * fc_9 \quad (\text{Ec. B. 56})$$

Donde:

$P_D$ : Precio del equipo en dólares, ( $\$/unidad$ )

$Pr_B$ : Precio del equipo por unidad en bolívares, ( $BsF/unidad$ )

$fc_9$ : Factor de conversión 9 ( $1\$/4,30BsF$ )

Sustituyendo en la ecuación B.56, el precio de la batería para carro que se encuentra en la tabla D.2, se obtiene:

$$P_{DB} = \frac{800BsF}{1\text{unidad}} * \frac{1\$}{4,30BsF} = 186,05\$$$

Las conversiones restantes del precio de los equipos que se encuentran en bolívares a dólares, se muestran en la tabla 4.24.

Para la conversión a dólares del precio de los equipos cuyo valor se encuentra en euros, se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_D = Pr_E * fc_{10} \quad (\text{Ec. B. 57})$$



Donde:

$P_D$ : Precio del equipo en dólares, ( $\$/unidad$ )

$Pr_B$ : Precio del equipo por unidad, ( $BsF/unidad$ )

$fc_{10}$ : Factor de conversión 10 (1,3536\$/1€)

Sustituyendo en la ecuación B.57 el precio de la bomba peristáltica de la tabla D.2, se obtiene:

$$P_{DB} = \frac{94,60\text{€}}{1 \text{ unidad}} * \frac{1,3536\$}{1\text{€}} = 128,05\$$$

Las demás conversiones de euros a dólares del precio de los equipos, se exponen en la tabla 4.24.

### ➤ Cálculo del precio neto de los equipos que requieren instalación

#### Costos de equipos principales

Se consideran como equipos principales la bomba peristáltica y los tanques, ya que el sistema requiere de un posterior proceso de instalación. Se calcula el precio neto como:

$$Pn_i = Nu * P_D \quad (\text{Ec. B. 58})$$

Donde:

$Pn_i$ : Precio neto de compras por equipos, ( $\$$ )

$Nu$ : Número de equipos, (unidad)

$i$ : Equipo en estudio

Sustituyendo los valores para la bomba peristáltica, que se encuentran en la tabla 4.24 en la ecuación B.58, se obtiene:

$$Pn_{BP} = 1 \text{ unidad} * \frac{128,05\$}{1 \text{ unidad}} = 128,05\$$$

El costo total de equipos principales viene representado por la siguiente expresión:

$$Pn_{EP} = \sum_{i=1}^n Pn_i \quad (\text{Ec. B. 59})$$



Donde:

$Pn_{EP}$ : Precio neto total de equipos principales, (\$)

Sustituyendo los  $Pn_i$  de los equipos principales expuestos en la tabla C.17, se tiene:

$$Pn_{EP} = (128,05 + 27,35)\$ = 155,4\$$$

### Costos por tuberías (mangueras)

Para este cálculo se hace uso de la siguiente ecuación:

$$Pn_{mangueras} = Lr * P_D \quad (\text{Ec. B. 60})$$

Donde:

$Pn_{mangueras}$ : Precio neto de compras por mangueras, (\$)

$Lr$ : Longitud de manguera requerido, (m)

Sustituyendo los valores mostrados en la tabla 4.24 en la ecuación B.60, queda:

$$Pn_{mangueras} = 26,73m * \frac{2,79\$}{m} = 74,60\$$$

### Costos por accesorios

Se lleva a cabo el cálculo mediante la ecuación B.61.

$$Pn_a = Na * P_D \quad (\text{Ec. B. 61})$$

Donde:

$Pn_a$ : Precio neto de compras por accesorios, (\$)

$Na$ : Número de accesorios, (unidad)

Al sustituir los valores correspondientes a las válvulas tres (3) vías, expuestos en la tabla 4.24, se obtiene:

$$Pn_a = 3\text{unidad} * \frac{89,76\$}{\text{unidad}} = 269,27\$$$

De forma similar se realiza el cálculo para los accesorios restantes, cuyos resultados se encuentran en la tabla C.18., y que al sustituirlos en la ecuación B.59, se tiene:

$$Pn_{TA} = (269,27 + 59,30 + 4,65 + 5,81 + 3,49 + 1,86 + 68,71)\$$$



$$Pn_{TA} = 413,10\$$$

Donde:

$Pn_{TA}$ : Precio neto total por accesorios, (\$)

### Precio neto de los equipos que requieren instalación

Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Pn_{ERI} = Pn_{EP} + Pn_{mangueras} + Pn_{TA} \quad (\text{Ec. B. 62})$$

Donde:

$Pn_{ERI}$ : Precio neto de los equipos que requieren instalación, (\$)

$$Pn_{ERI} = 155,4 + 74,60 + 413,10 = 643,1 \$$$

### ➤ Costo de instalación de los equipos que lo requieren

El costo por instalación de los equipos se estimó como el 30 % del precio neto total de los mismos:

$$C_{inst} = 0,3 * Pn_{ERI} \quad (\text{Ec. B. 63})$$

Donde:

$C_{inst}$ : Costos por instalación de equipos que lo requieren, (\$)

Sustituyendo:

$$C_{inst} = 0,3 * 643,1 = 192,93\$$$

### ➤ Costos de equipos adicionales, materiales de vidrio, reactivos y materiales complementarios (no requieren instalación)

Se realiza mediante la expresión B.58, y al sustituir los datos correspondientes para la centrífuga, que se encuentran en la tabla 4.24, se tiene:

$$Pn_{EA} = 1\text{unidad} * \frac{439,92\$}{\text{unidad}} = 439,92\$$$

De igual forma se calcula para los equipos adicionales restantes, estando los resultados obtenidos en la tabla C.19, los cuales al sustituirlos en la ecuación B.59, queda:

$$Pn_{TC} = (439,92 + 438,57 + 13,95 + 1,30 + 36,82 + 186,05 + 81,40 + 2,91 + 4,65 + 3,79 + 0,70 + 0,81 + 31,81 + 89,76 + 12,79 + 232,56 + 7,65)\$ = 1585,43\$$$



Donde:

$Pn_{TC}$ : Precio neto total de equipos adicionales, (\$)

➤ **Precio neto total de los equipos requeridos para implementar las alternativas propuestas**

$$Pn_{TOTAL} = Pn_{ERI} + Pn_{TC} \quad (\text{Ec. B. 64})$$

Donde:

$Pn_{TOTAL}$ : Precio neto total de los equipos requeridos para implementar las alternativas propuestas, (\$)

Sustituyendo los valores respectivos, se obtiene:

$$Pn_{TOTAL} = (643,1 + 1585,43)\$$$

$$Pn_{TOTAL} = 2228,53\$$$

➤ **Imprevistos**

Los costos por imprevistos se estiman como el 5 % del precio neto total de los equipos requeridos para implementar las alternativas propuestas.

$$IMP = 0,05 * Pn_{TOTAL} \quad (\text{Ec. B. 65})$$

Donde:

$IMP$ : Imprevistos al implementar las propuestas, (\$)

Sustituyendo, se tiene:

$$IMP = 0,05 * 2228,53\$ = 111,43\$$$

➤ **Activos fijos tangibles**

Los activos fijos comprenden aquella inversión que va dirigida a la adquisición de materia prima, equipos principales, etc. Por lo que se expresa con la siguiente ecuación:

$$AFT = Pn_{TOTAL} \quad (\text{Ec. B. 66})$$

Donde:

$AFT$ : Activos fijos tangibles, (\$)

Lo que indica que los activos fijos son iguales al precio neto total por la adquisición de los equipos, accesorios y materiales complementarios, siendo:

$$AFT = 2228,53\$$$



➤ **Activos fijos intangibles**

Los activos intangibles se expresan como:

$$AFI = C_{inst} + IMP \quad (\text{Ec. B. 67})$$

Donde:

$AFI$ : Activos fijos intangibles, (\$)

Al sustituir los valores respectivos en la ecuación B.67, queda:

$$AFI = (192,93 + 111,43)\$ = 304,36\$$$

➤ **Capital fijo**

Utilizando la siguiente expresión se calcula el capital fijo:

$$C_{fijo} = AFT + AFI \quad (\text{Ec. B. 68})$$

Donde:

$C_{fijo}$ : Capital fijo, (\$)

Quedando:

$$C_{fijo} = (2228,53 + 304,36)\$ = 2.532,89\$$$

➤ **Cálculo de los ahorros obtenidos al aplicar las alternativas planteadas**

**Ahorro generado por el volumen de agua minimizado**

Haciendo uso de la ecuación que se plantea a continuación, se obtiene el ahorro generado por la minimización de agua al aplicar la propuesta para la práctica de equilibrio líquido-vapor:

$$AH_{agua} = V_{agua\_min} * f_{c_9} * P_{ra} \quad (\text{Ec. B. 71})$$

Donde:

$AH_{agua}$ : Ahorro generado por el volumen de agua minimizado, (\$)

$V_{agua\_min}$ : Volumen de agua minimizado, (m<sup>3</sup>)

$P_{ra}$ : Precio del agua por metro cúbico, (Bs/m<sup>3</sup>)

El Volumen minimizado de agua es 22,806 m<sup>3</sup> y el costo por metro cúbico es 7 Bs/m<sup>3</sup>, sustituyendo dichos valores en la expresión B.71, se obtiene:



$$AH_{agua} = 22,806m^3 * 7 \frac{Bs}{m^3} * \frac{1\$}{4,30Bs} = 37,13\$$$

### Ahorro generado por el volumen minimizado de los reactivos

$$AH_{react\_l} = C_{react\_min} * Prr \quad (\text{Ec. B. 72})$$

Donde:

$AH_{react\_l}$ : Ahorro por reactivo minimizado, (\$)

$C_{react\_min}$ : Cantidad de reactivo minimizado, (mL ó g)

$Prr$ : Precio del reactivo, (\$/g, \$/kg ó \$/L)

Sustituyendo los valores respecto al etanol que se encuentra en las tablas 4.26 y D.3, se obtiene:

$$AH_{react\_l} = 0,540L * \frac{1895,04\$}{2,5L} = 30,24\$$$

Para el resto de los reactivos minimizados al aplicar las propuestas, el ahorro se obtiene de forma similar, y los resultados se presentan en la tabla 4.26.

El ahorro total proveniente de la minimización de los reactivos viene dado por:

$$AH_{react\_T} = \sum_{l=1}^n AH_{react\_l} \quad (\text{Ec. B. 73})$$

Donde:

$AH_{react\_T}$ : Ahorro total por la minimización de reactivos, (\$)

Al sustituir los valores mostrados en la tabla 4.26, se tiene:

$$AH_{react\_T} = (30,24 + 0,45 + 6,52 + 270,53 + 0,05 + 47,62)\$$$

$$AH_{react\_T} = 355,40\$$$

### Ahorro que supone evitar las posibles multas a la universidad por los daños causados al ambiente por parte del LFQ

$$AH_{multas} = P_{UT} * UT * fc_9 \quad (\text{Ec. B. 74})$$

Donde:

$AH_{multas}$ : Ahorro por las posibles multas que podrían ser aplicadas a la universidad, (\$)



$P_{UT}$ : Precio de la unidad tributaria, (Bs/U.T)

$U.T$ : Unidades tributarias aplicadas por la multa, (adim)

El Artículo 82 de la ley sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos, dispone aplicar una multa de hasta 6.000 U.T por violación de dicho artículo, siendo el costo por UT de 65,00BsF.; sustituyendo estos valores en la ecuación B.74, se obtiene:

$$AH_{multas} = 65,00 \frac{Bs}{U.T} * 6.000 U.T * \frac{1\$}{4,30Bs} = 90.697,67\$$$

En la tabla 4.27 se muestran los artículos y leyes que podrían ser aplicados a la universidad por ocasionar daños al ambiente, así como también las multas correspondientes a cada uno de ellos y que representan un ahorro para la institución.

### Ahorro total

Se aplica la siguiente ecuación para la determinación del ahorro total:

$$AH_{Total} = AH_{agua} + AH_{react_T} + AH_{multas} \quad (\text{Ec. B. 75})$$

Donde:

$AH_{Total}$ : Ahorro total, (\$)

$$AH_{Total} = (37,13 + 355,40 + 90.967,67)\$ = 91.090,2\$$$

### ➤ Relación costo beneficio

Haciendo uso de la ecuación B.76, se obtiene la relación de costo-beneficio.

$$RCB = \frac{C_{fijo}}{AH_{Total}} \quad (\text{Ec. B. 76})$$

Donde:

$RCB$ : Relación costo-beneficio, (adim)

Obteniéndose:

$$RCB = \frac{2.532,89\$}{91.090,2\$} = 0,028 \text{ adim}$$



**APÉNDICE C. RESULTADOS EXPERIMENTALES:** A continuación se exponen los resultados obtenidos mediante la aplicación de modelos matemáticos, análisis fisicoquímicos y al llevar cabo de forma experimental las alternativas propuestas, a fin de desarrollar cada uno de los objetivos planteados en este estudio.



Tabla C.1. Volúmenes acumulados por semana durante el período de recolección de muestras

Prácticas	Tipos de residuos	Volumen total por semanas		
		Semana 1 ( $V_{\text{sem reco}1} \pm 15$ ) mL	Semana 2 ( $V_{\text{sem reco}2} \pm 15$ ) mL	Semana 3 ( $V_{\text{sem reco}3} \pm 15$ ) mL
Calorimetría	HNO <sub>3</sub> titulado	270	330	120
	NaOH <sub>calorimetría</sub>	75	90	150
Equilibrio líquido-vapor	Exceso de n-hexano	30	45	45
	Exceso de etanol	30	120	90
	n-hexano-etanol (calibración)	330	270	330
	Mezcla recuperada	15	135	135
Equilibrio líquido-líquido	HAc <sub>liq-liq</sub>	15	30	15
	Exceso de tolueno	60	75	75
	Fases no tituladas	210	255	240
	Fases tituladas	555	615	390
	NaOH <sub>acuoso liq-liq</sub>	60	150	75
	NaOH <sub>alcohólico liq-liq</sub>	75	75	90
Conductimetría	NaCl	-	1935	-
	HCl <sub>diluido</sub>	1755	-	1815
	HAc <sub>diluido</sub>	2745	2925	2715
	HAc <sub>conductimetría</sub>	90	60	45
	HCl <sub>conductimetría</sub>	210	-	45
	KCl	255	435	180
Adsorción	Exceso de ácido oxálico	120	45	90
	Ácido oxálico titulado	75	135	135
	Ácido oxálico filtrado	825	1005	960
	Ácido oxálico filtrado titulado	855	615	615
	NaOH <sub>adsorción</sub>	105	240	105



**Tabla C.2. Índices de refracción corregidos para algunos reactivos empleados en las prácticas realizadas en el LFQ**

<b>Compuesto</b>	<b>Índice de refracción corregido (<math>\eta_{\text{corregido}} \pm 0,001</math>) adim</b>
Etanol	1,362
Hexano	1,372
Tolueno	1,493
Ácido acético	1,371

**Tabla C.3. Índices de refracción corregidos para construir la curva de calibración de la mezcla binaria n-hexano-etanol**

<b>Solución n-hexano % p/p</b>	<b>Índice de refracción corregido (<math>\eta_{\text{corregido}} \pm 0,001</math>) adim</b>	<b>Fracción molar de n-hexano (<math>X_H \pm 0,05</math>) adim</b>
0	1,362	0,00
10	1,363	0,05
20	1,364	0,10
30	1,365	0,15
40	1,365	0,25
50	1,366	0,30
60	1,367	0,40
70	1,368	0,50
80	1,370	0,65
90	1,371	0,80
100	1,372	1,00

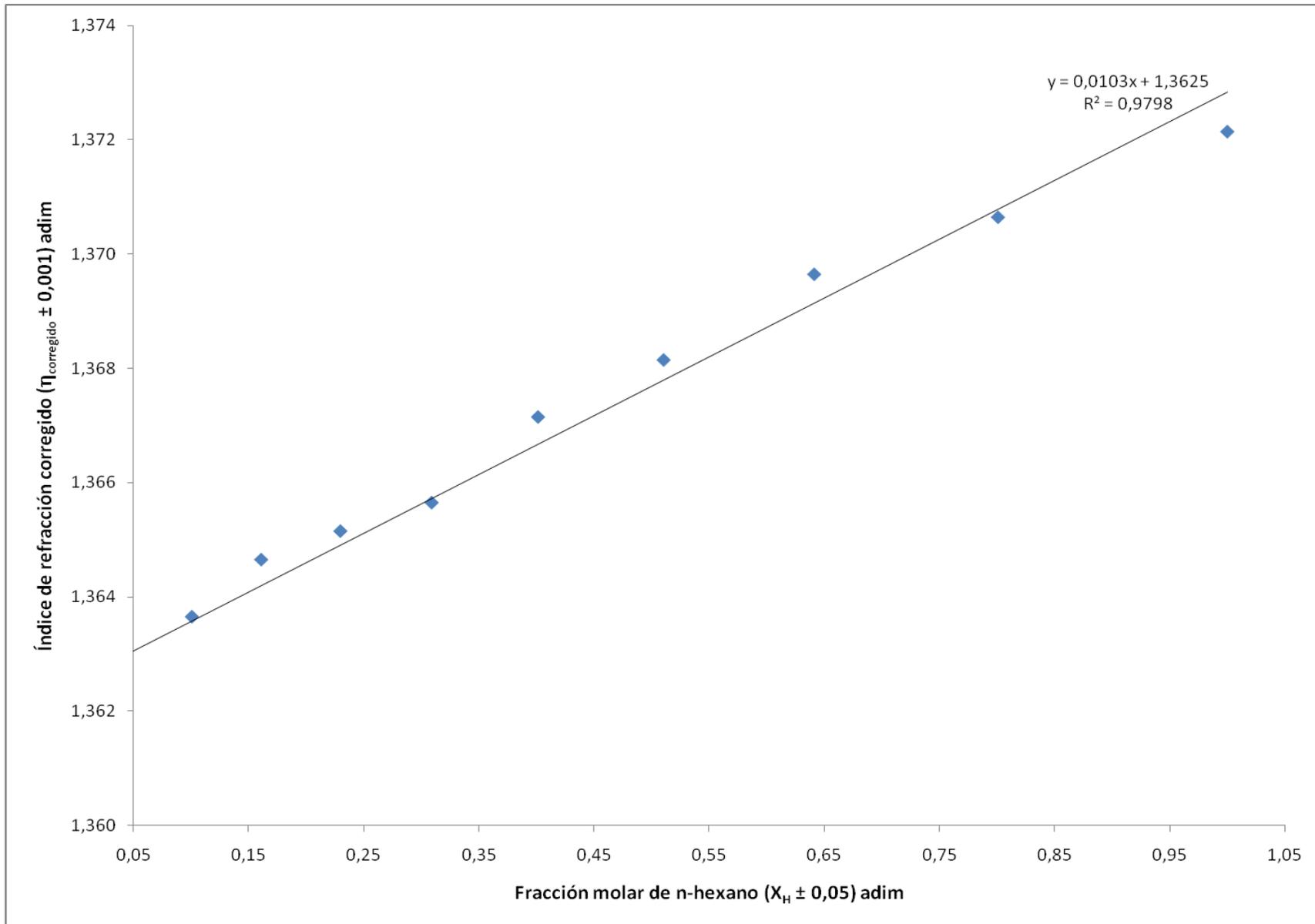


Figura C.1. Curva de calibración del índice de refracción en función de la composición de n-hexano

**Tabla C.4. Volumen promedio de NaOH agregado por práctica en calorimetría**

Volumen promedio de NaOH agregado al HNO <sub>3</sub> resultado de la combustión del ácido benzoico (V <sub>NaOHbenzpp</sub> ) mL	Volumen promedio de NaOH agregado por práctica (V <sub>ppp</sub> ) mL
4,90	30,2

**Tabla C.5. Volumen aproximado de agua empleado actualmente en la práctica de equilibrio líquido-vapor para el enfriamiento**

Equipos	Volumen promedio ( $\bar{V}_p \pm 0,5$ ) mL	Tiempo promedio ( $\bar{t}_p \pm 0,01$ ) s	Caudal ( $Q \pm 1$ ) mL/s	Volumen generado por práctica (V <sub>pi</sub> ) L	Volumen total por práctica (V <sub>p</sub> ± 13) L
Condensador	40,0	1,26	32	341 ± 11	429
Refractómetro	31,0	3,92	8	86 ± 2	

**Tabla C.6. Volúmenes necesarios para preparar 20 mL de solución binaria ácido acético-agua y ácido acético-tolueno con porcentajes en peso de ácido acético de 10, 30,40 y 60 %**

% p/p de ácido acético	Ácido acético-tolueno		Ácido acético-agua	
	Volumen de ácido acético (mL)	Volumen de tolueno (mL)	Volumen de ácido acético (mL)	Volumen de agua (mL)
10	1,67	18,33	1,92	18,08
30	5,20	14,80	5,80	14,20
40	7,07	12,93	7,77	12,23
60	11,03	8,97	11,77	8,23



**Tabla C.7. Volumen de tolueno aproximado para alcanzar el punto de turbidez en los sistemas ternarios**

Práctica	Volumen aproximado por práctica ( $V_{\text{tolapr}}$ ) mL	Volumen promedio para lograr el punto de turbidez ( $V_{\text{turbidez}}$ ) mL
1	3,20	2,40
2	--	
3	0,80	
4	0,96	
5	1,12	
6	--	
7	7,20	
8	1,68	
9	2,00	

**Tabla C.8. Volumen aproximado de hidróxido de sodio acuoso y alcohólico empleado en la práctica de equilibrio líquido-líquido**

Práctica	Volumen aprox. de NaOH acuoso por práctica ( $V_{\text{NaOHacprox}}$ ) mL	Volumen promedio de NaOH acuoso por práctica ( $V_{\text{NaOHacprom}}$ ) mL	Volumen aprox. de NaOH alcohólico por práctica ( $V_{\text{NaOHalprox}}$ ) mL	Volumen promedio de NaOH alcohólico por práctica ( $V_{\text{NaOHalprom}}$ ) mL
1	104,2	120,4	40,6	33,7
2	--		--	
3	124,3		31,1	
4	144,0		28,7	
5	107,6		49,4	
6	--		--	
7	107,9		26,2	
8	129,9		31,4	
9	125,0		28,4	



**Tabla C.9. Conductancias promedio medidas al agua destilada durante el período de recolección**

Semana	Conductancias ( $\bar{L}_{H_2O} \pm 1 \cdot 10^{-8}$ ) $\Omega^{-1}$
1	$132 \cdot 10^{-8}$
2	$138 \cdot 10^{-8}$
3	$133 \cdot 10^{-8}$

**Tabla C.10. Conductancia promedio medida al agua destilada contenida en un cilindro de plástico de 50 mL de capacidad**

Sustancia	Conductancia ( $L_{H_2O\text{cil}} \pm 1 \cdot 10^{-8}$ ) $\Omega^{-1}$
Agua destilada	$137 \cdot 10^{-8}$

**Tabla C.11. Volumen promedio de hidróxido de sodio agregado por los alumnos en las prácticas de adsorción**

Práctica	Volumen aprox. por práctica ( $V_{NaOH\text{adprox}}$ ) mL	Volumen promedio por práctica ( $V_{NaOH\text{adprom}}$ ) mL
1	22,7	22,0
2	--	
3	19,3	
4	--	
5	18,0	
6	22,1	
7	28,1	
8	--	
9	21,5	

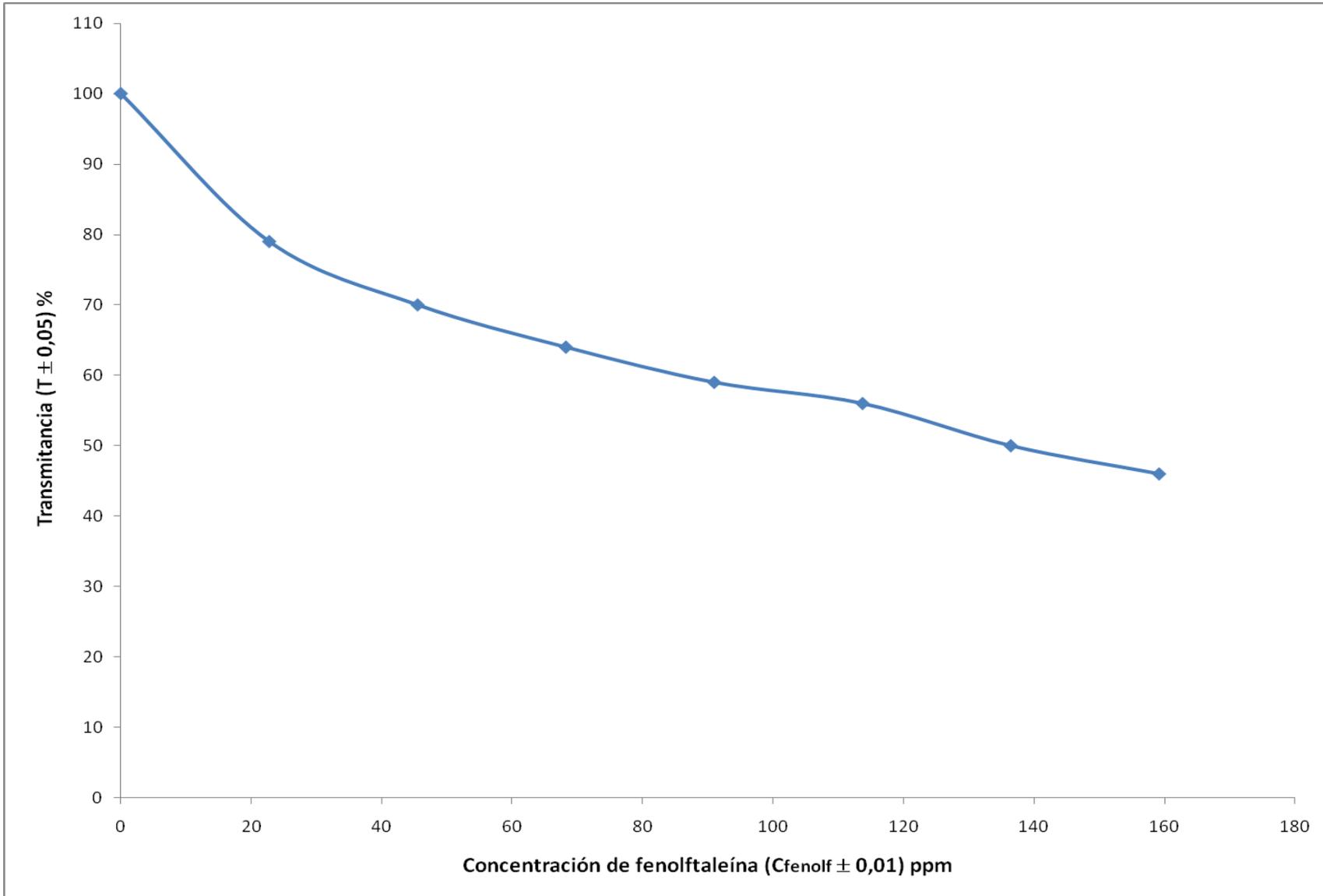
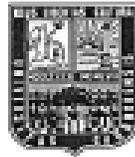
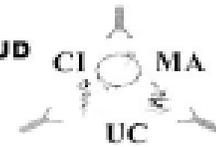


Figura C.2. Curva de calibración de la transmitancia en función de la concentración de fenolftaleína



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD  
CENTRO DE INVESTIGACIONES  
MICROBIOLÓGICAS APLICADAS



**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO  
DE REACTORES FOTOCATALÍTICOS  
(Octubre de 2010)**

**Identificación de la(s) muestra(s):**

1. Muestra Inicial
2. Muestra Final (Después del tratamiento)

La muestra fue consignada al laboratorio por la Sra. Castellanos Diosiret.

**Parámetro y Metodología**

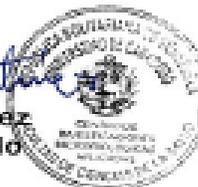
Parámetro	Metodología
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Capacidad del dicromato de potasio de oxidar la materia orgánica no-biodegradable y biodegradable en medio ácido a reflujo abierto por espacio de dos horas. Test 5220 B. <i>Demanda Química de Oxígeno. Método de reflujo abierto</i>

**NOTA:** Standard Methods for examination of water and wastewater.

**Resultados**

Parámetro	Muestra	
	1	2
Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg/L	211644.8	104028.8

  
Prof. Carlos Martínez  
Director Encargado



  
Lcda. Rosmary Vargas  
Químico Analista

Dirección: Av. Universidad, Campus Bárbula; Telefax 0241-867.0268; Teléfono: 0241-990.9116; Celular 0412-343.1042 (Dr. Luis Medina); e-mail: uma\_fcs@uc.edu.ve / cmauc\_fcs@hotmail.com

Figura C.3. Demanda Química de Oxígeno de la fenolftaleína antes y después de la oxidación fotocatalítica



**Tabla C.12. Variación de la concentración de fenolftaleína en función del tiempo durante la oxidación fotocatalítica**

<b>Muestras</b>	<b>Tiempo (<math>t \pm 0,5</math>) min</b>	<b>Concentración (<math>C_{\text{fenolf}} \pm 0,01</math>) ppm</b>	<b>Log (Concentración)</b>	<b>1/Concentración</b>
1	0,0	147,76	2,17	0,0068
2	20,0	98,52	1,99	0,0102
3	40,0	49,28	1,69	0,0203
4	60,0	27,80	1,44	0,0359
5	80,0	11,91	1,08	0,0839
6	100,0	5,41	0,73	0,1848
7	120,0	3,25	0,51	0,3077

**Tabla C.13. Concentración de las soluciones de ácido acético empleadas en la adsorción sobre carbón activado**

<b>Solución</b>	<b>Volumen promedio de titulante agregado (<math>V_{\text{agprom}} \pm 0,05</math>) mL</b>	<b>Concentración inicial (<math>C_i \pm 0,0001</math>)</b>
1	4,05	0,0091
2	1,70	0,0013
3	0,95	0,0007

**Tabla C.14. Concentración de las soluciones de ácido acético luego de la adsorción sobre carbón activado**

<b>Solución</b>	<b>Volumen promedio de titulante agregado (<math>V_{\text{agprom}} \pm 0,05</math>) mL</b>	<b>Concentración final (<math>C_f \pm 0,0001</math>) mol/L</b>
1	1,00	0,0023
2	0,10	0,0003
3	6,20	0,0001



Universidad de Carabobo  
Centro de Investigaciones Toxicológicas  
CITUC

Bárbula 17 de Enero de 2011

### REPORTE DE RESULTADOS

Descripción de la muestra	Concentración (mg/L)	Porcentaje de Pureza (%)
Fase sólida titulada (decantado)	3247,87	94,15
Fase no titulada	2766,07	79,54
Fotocatálisis Final	3188,75	92,13

**Metodología:** Se evaluaron tres (3) muestras líquidas para determinar la concentración de Tolueno presente en las mismas. Se realizó cromatografía de gases con Cromatografo Shimadzu GC-14, utilizando una columna empacada con fase estacionaria OV-101 con soporte de SWhimalite W AW- DMCS Mesh 80/100. El detector utilizado fue FID.

Realizado por:

  
TSU. Camilo Oliver



Revisado por

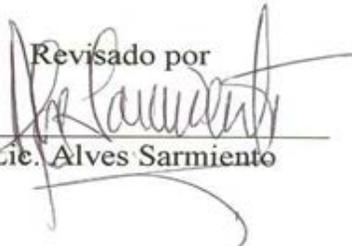
  
Lic. Alves Sarmiento

Figura C.4. Cromatografía de gases del tolueno proveniente de tres (3) alternativas llevadas a cabo experimentalmente.



**Tabla C.15. Valores obtenidos al realizar la titulación potenciométrica y conductimétrica combinadas**

<b>Volumen de titulante agregado (<math>V_{\text{agregado}} \pm 0,05</math>) mL</b>	<b>Conductancia corregida (<math>G_{\text{corregida}} \pm 0,000005</math>) <math>\Omega^{-1}</math></b>	<b>Primera derivada (<math>\Delta\text{pH}/\Delta V</math>) unidades/mL</b>	<b>Segunda derivada (<math>\Delta^2\text{pH}/\Delta V^2</math>) unidades/mL</b>
0,00	0,000150	--	--
0,20	0,000120	0,6	--
0,40	0,000100	1,0	1,93
0,60	0,000090	1,1	0,35
0,80	0,000080	1,8	3,30
1,00	0,000075	1,9	0,60
1,20	0,000080	3,1	6,10
1,40	0,000085	1,9	-6,05
1,60	0,000095	0,6	-6,45
1,80	0,000110	18,2	88,03
2,00	0,000120	5,0	-66,05
2,20	0,000150	1,1	-19,70
2,40	0,000185	0,5	-2,85
2,60	0,000205	0,4	-0,55
2,80	0,000235	0,0	-1,75
3,00	0,000260	0,1	0,55
3,20	0,000290	0,1	-0,15
3,40	0,000300	0,1	-0,20
3,60	0,000330	0,2	0,65
3,80	0,000355	0,1	-0,30
4,00	0,000365	0,1	-0,35



**Tabla C.16. Concentración de la solución de ácido oxálico filtrado luego de la evaporación de agua**

<b>Titulante</b>	<b>Volumen promedio de titulante (<math>V_{\text{agprom}} \pm 0,05</math>) mL</b>	<b>Concentración final (<math>C_f \pm 0,0004</math>) mol/L</b>
NaOH 0,2500 N	0,20	0,0016

**Tabla C.17. Precio neto total de equipos que requieren instalación**

<b>Equipos</b>	<b>Pn<sub>i</sub> (\$)</b>
Bomba peristáltica	128,05
Tanques (40L)	27,35
<b>Precio neto total de equipos que requieren instalación</b>	<b>155,4</b>

**Tabla C.18. Precio neto por accesorios**

<b>Accesorios</b>	<b>Pn<sub>a</sub></b>
Válvulas	269,27
Soporte metálico	59,30
Grapas para madera	4,65
Tirack	5,81
Tornillos autorroscantes	3,49
Codos 1/2"	1,86
Te de bifurcación	68,71
<b>Precio neto total por accesorios</b>	<b>413,10</b>

**Tabla C.19. Precio neto por equipos adicionales**

<b>Equipos adicionales</b>	<b>Pn<sub>i</sub></b>
Centrífuga	439,92
pH-metro	438,57
Dióxido de titanio	13,95
Peróxido de hidrógeno 3% v/v	1,30
Perlas de ebullición	36,82
Batería para carro (700A)	186,05
Pila de bombeo	81,40
Agitador magnético peq.	2,91
Frascos ámbar con tapa (20mL)	4,65
Agitador magnético gde.	3,79
Jeringa (1mL)	0,70
Jeringa (20mL)	0,81
Propipeta de goma	31,81
Resistencia	89,76
Tirro plomo	12,79
"h" de vidrio	232,56
Tanques (10L)	7,65
<b>Precio neto total por equipos adicionales</b>	<b>1585,43</b>

**Tabla C.20. Depreciación de los equipos utilizados en las alternativas propuestas**

<b>Equipos depreciables</b>	<b>Depreciación (\$/año)</b>
Bomba peristáltica	12,81
Centrífuga	43,99
PHmetro	43,86
<b>Depreciación total</b>	<b>100,65</b>



**APÉNDICE D. FIGURAS Y DATOS BIBLIOGRÁFICOS:** En este apéndice se muestran las figuras y datos bibliográficos que sirvieron de apoyo para desarrollar los objetivos planteados dentro de la investigación.



**Tabla D.1. Datos bibliográficos de algunos reactivos empleados en las prácticas realizadas en el LFQ**

Compuesto	* Índice de refracción bibliográfico (IR <sub>B</sub> )	Densidad (g/mL)	Peso molecular	Temperatura de ebullición (T <sub>eb</sub> ) °C	Solubilidad en agua	pK <sub>a</sub> **
Etolol	1,361	0,789	46,07	78,4	-----	-----
Hexano	1,375	0,659	86,17	69	-----	-----
Tolueno	1,496	0,860	92,13	110,8	-----	43
Ácido acético	1,372	1,0456	60,050	118,1	∞	-----
Fenolftaleína	-----	-----	318,31	-----	-----	-----
Metanol	1,329	-----	32,04	64,7	-----	-----
Agua	-----	1,000	18,06	100	-----	-----
Cloruro de sodio	-----	2,164	58,45	-----	-----	-----
Cloruro de potasio	-----	1,987	74,551	-----	-----	-----
Ácido oxálico	-----	-----	90,0216	-----	Soluble	-----

Fuentes: Perry, Robert (2000). Manual del Ingeniero Químico.

\* Cienytech, (2003).

\*\* Quiored, (2003).



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
LABORATORIO DE MOVIMIENTOS Y TIEMPOS

Pag. de

### DIAGRAMA DEL PROCESO

RESUMEN						
	Actual		Propuesto		Diferencias	
	No	Tiempo	No	Tiempo	No	Tiempo
<input type="radio"/> OPERACIONES						
<input type="checkbox"/> TRANSPORTES						
<input type="checkbox"/> INSPECCIONES						
<input type="checkbox"/> DEMORAS						
<input type="checkbox"/> ALMACENAJES						
Distancia recorrida	mts.		mts.		mts.	
Tiempo total						

Nombre del Proceso: \_\_\_\_\_

Hombre [ ]    Material [ ] \_\_\_\_\_

Se inicia en: \_\_\_\_\_

Se termina en: \_\_\_\_\_

Hecho por: \_\_\_\_\_      Fecha: \_\_\_\_\_

DESCRIPCION DEL METODO	Actual [ ] Propuesto [ ]	Operación	Transporte	Inspección	Demora	Almacenaje	Distancia en metros	Capítulo	Tiempo	ANÁLISIS					OBSERVACIONES	ACCIÓN					
										¿Cuales?	¿Dónde es?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?		Eliminar	Combinar	Secuenciar	Colocar	Personar	Mejorar
1		<input type="checkbox"/>																			
2		<input type="checkbox"/>																			
3		<input type="checkbox"/>																			
4		<input type="checkbox"/>																			
5		<input type="checkbox"/>																			
6		<input type="checkbox"/>																			
7		<input type="checkbox"/>																			
8		<input type="checkbox"/>																			
9		<input type="checkbox"/>																			
10		<input type="checkbox"/>																			
11		<input type="checkbox"/>																			
12		<input type="checkbox"/>																			
13		<input type="checkbox"/>																			
14		<input type="checkbox"/>																			
15		<input type="checkbox"/>																			
16		<input type="checkbox"/>																			
17		<input type="checkbox"/>																			
18		<input type="checkbox"/>																			
19		<input type="checkbox"/>																			
20		<input type="checkbox"/>																			
21		<input type="checkbox"/>																			
22		<input type="checkbox"/>																			
23		<input type="checkbox"/>																			
24		<input type="checkbox"/>																			
25		<input type="checkbox"/>																			
26		<input type="checkbox"/>																			
27		<input type="checkbox"/>																			
28		<input type="checkbox"/>																			
29		<input type="checkbox"/>																			
30		<input type="checkbox"/>																			

Figura D.1. Diagrama del proceso empleado para analizar los procesos productivos a nivel industrial



**winkler** Ficha de Seguridad Química

**SODIO HIDRÓXIDO 0.02N**

**DESCRIPCIÓN**

Sinónimos	: Sodio Hidróxido en solución - Hidróxido de Sodio en solución - Hidróxido Sódico en solución - Soda Cáustica en solución - Cáustico Blanco en solución - Lejía de Sodio en solución.
Formula Química	: NaOH
Concentración	: 0.08
Peso molecular	: 40.00
Grupo Químico	: Compuesto de Sodio Inorgánico - Hidróxido - Alkali.
Número CAS	: 1310-73-2
Número NU	: 1824 (Sodio Hidróxido en solución).
Código Winkler	: 30315

**PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

Estado Físico	: Líquido.
Apariencia	: Incoloro y transparente.
Olor	: Sin olor.
pH	: Entre 10 y 12
Temperatura de Ebullición	: 100°C aproximadamente.
Temperatura de Fusión	: 0°C aproximadamente.
Densidad (Agua)	: 1.00 kg/L a 20°C
Presión de Vapor	: 1.5 mmHg a 20°C (solución acuosa al 50%).
Densidad de Vapor (Aire)	:
Solubilidad	: Completamente soluble en Agua. Soluble en Alcoholes Etilico y Metílico y Glicerol.

**IDENTIFICACION DE RIESGOS**

Riesgo Principal	: Corrosivo
Riesgos Secundarios	: Nocivo - Reactivo leve
Código Winkler	: <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  2 corrosivo </div> <div style="text-align: center;">  0 no riesgo </div> <div style="text-align: center;">  1 irritante </div> <div style="text-align: center;">  2 dañino </div> </div>
Rotulo de Transporte:	: <div style="display: flex; align-items: center;">  </div>
Clase	: 8
Grupo	: II
	: <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: right;"> <p><b>Norma NFPA</b></p> <p>2 - 0 - 1</p> </div> <div style="font-size: small;"> <p>Clasificación de Riesgos</p> <p>0 = No representativo</p> <p>1 = Leve</p> <p>2 = Moderado</p> <p>3 = Severo</p> <p>4 = Extremo</p> </div> </div>

Figura D.2. Extracto de la ficha de seguridad del hidróxido de sodio 0,02 N



### ALMACENAMIENTO

<b>Area de Almacenamiento</b>	:	Zona de almacenaje de reactivos y soluciones químicas con riesgo por contacto. Almacenamiento en bodegas, estanques y/o cabinas, diseñadas para contener corrosivos. Lugar frío, mínima humedad a seco y con buena ventilación. Contar con medios de contención de derrames. Acceso controlado y señalización del riesgo.
<b>Código de almacenaje Winkler</b>	:	Blanco Separado <input type="checkbox"/>
<b>Precauciones Especiales</b>	:	Almacenar separado del resto de las sustancias corrosivas. Mantener alejado de productos y condiciones incompatibles. Proteger contra el daño físico. Tenor los envases cerrados y debidamente etiquetados.

### MEDIDAS PARA EL CONTROL DE DERRAMES O FUGAS

<b>PROCEDIMIENTO</b>
Contener el derrame o fuga. Ventilar el área y aislar la zona crítica. Utilizar elementos de protección personal - Nivel de protección B o C. Neutralizar con soluciones de Acido Acético o Acido Clorhídrico. Absorber el producto por medio de un material o producto inerte, como la Arena. Recoger el producto a través de una alternativa segura - Disponer el producto recogido como residuo químico. Lavar completamente la zona contaminada con bastante Agua. Solicitar ayuda especializada si es necesaria. Apoyarse con la Guía de Respuesta a Emergencias Americana (Guía N°154).

### DISPOSICION DE RESIDUOS QUIMICOS

En general, los residuos químicos se pueden eliminar a través de las aguas residuales, por el desagüe u otra alternativa segura, una vez que se acondicionen de forma tal de ser inocuos para el medio ambiente.  Para pequeñas cantidades: Diluir con Agua en una proporción aproximada de 1:5 u otra que sea necesaria y luego neutralizar hasta pH 6-8, añadiendo lentamente Acido Sulfúrico diluido u otro compuesto Acido equivalente. La solución salina resultante, en caso de ser necesario, se diluye con más Agua y se elimina en las aguas residuales o por el desagüe.  Los derrames una vez neutralizados, se disuelven en Agua y se eliminan por el desagüe.  Es importante considerar para la eliminación de residuos, que se realice conforme a lo que disponga la autoridad competente respectiva, solicitándose previamente la autorización correspondiente.
--

Figura D.2. Extracto de la ficha de seguridad del hidróxido de sodio 0,02 N (continuación)



**winkler** Ficha de Seguridad Química

**FENOLFTALEÍNA 1%**

**DESCRIPCIÓN**

Sinónimos:	Fenolftaleína en solución - 3,3-bis(4-Hidroxifenil)-1-(3H)-Isobenzofuranona en solución - 3,3-bis(p-Hidroxifenil)-Ftalido en solución - Fenolftaleína Indicador en solución.
Formula Química:	C <sub>20</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub> x C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O
Concentración:	1.0%
Peso molecular:	318.33
Grupo Químico:	Compuesto Orgánico - Indicador.
Numero CAS:	77-09-8
Numero NU:	1993 (Líquidos Inflamables, no especificados).
Codigo Winkler:	501840

**PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS**

Estado Físico:	Líquido.
Apariencia:	Incoloro y transparente.
Olor:	Olor fragante característico.
pH:	Intervalo de transición visual: pH: 8 (incoloro) - pH: 10 (rojo).
Temperatura de Ebullición:	No reportado.
Temperatura de Fusión:	258 - 262°C (Fenolftaleína sólida).
Densidad (Aguil):	No reportado.
Presión de Vapor:	No reportado.
Densidad de Vapor (Airel):	No reportado.
Solubilidad:	Soluble en Agua.

**IDENTIFICACION DE RIESGOS**

Riesgo Principal:	Inflamable
Riesgos Secundarios:	Nocivo - Irritante y Reactivo leve
Codigo Winkler:	
Rótulo de Transporte:	
Clase:	3
Grupo:	III

**Norma NFPA**  
1-3-0

Figura D.3. Extracto de la ficha de seguridad de la fenolftaleína al 1 %



### ALMACENAMIENTO

<b>Área de Almacenamiento</b>	:	Zona de almacenaje de reactivos y soluciones químicas con riesgo de inflamación. Almacenamiento en bodegas y/o cabinas, diseñadas para contener inflamables. Lugar frío y con buena ventilación. Disponer de algún medio de contención de derrames. Acceso controlado y señalización del riesgo.
<b>Código de almacenaje Winkler</b>	:	Rojo 
<b>Precauciones Especiales</b>	:	Almacenar separadamente de condiciones y productos incompatibles. Sistema eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Proteger contra el daño físico. Mantener los envases cerrados y debidamente etiquetados.

### MEDIDAS PARA EL CONTROL DE DERRAMES O FUGAS

#### PROCEDIMIENTO

Contener el derrame o fuga - Ventilar y aislar el área crítica.  
Alejar y/o apagar cualquier fuente de ignición.  
Utilizar elementos de protección personal - Nivel mínimo de protección B o C.  
Contar con algún medio de extinción de incendios.  
Absorber el derrame utilizando un material o producto inerte.  
Recoger el producto a través de una alternativa segura y disponerlo como residuo químico.  
Lavar la zona contaminada con Agua.  
Solicitar ayuda especializada si es necesaria - Apoyarse con la Guía de Respuesta a Emergencia Americana (Guía N°126).

### DISPOSICION DE RESIDUOS QUIMICOS

En general, los residuos químicos se pueden eliminar a través de una alternativa segura, una vez que se acondicionan de forma tal de ser inofensivos para el medio ambiente.

#### Posibilidades:

- Ver la posibilidad de recuperar el Alcohol por medio del proceso de destilación u otra alternativa segura.
- También, se pueden evaporar en pequeñas cantidades y con precaución bajo campana de laboratorio o tratar en una planta incineradora autorizada.
- Otra alternativa para Alcoholes, es diluir con Agua en una proporción de 1:20 u otra que sea necesaria y luego eliminar en las aguas residuales o por el desagüe. Evitar concentraciones inflamables por riesgo de incendio.

Es importante considerar para la eliminación de residuos, que se realice conforme a lo que disponga la autoridad competente respectiva, solicitándose previamente la autorización correspondiente.

Figura D.3. Extracto de la ficha de seguridad de la fenolftaleína al 1 % (continuación)



**winkler** Ficha de Seguridad Química

**HEXANO**

**DESCRIPCIÓN**

Simónimos	:	n-Hexano - Hexano normal - Hexil Hidruro.
Formula Química	:	C6H14
Concentración	:	98.5%
Peso molecular	:	86.18
Grupo Químico	:	Compuesto Orgánico - Hidrocarburo Alifático.
Numero CAS	:	110-54-3
Numero NU	:	1208 (Hexanos).
Código Winkler	:	HE-0845

**PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

Estado Físico	:	Líquido.
Apariencia	:	Incoloro.
Olor	:	Olor característico - Umbral del olor: 64 a 244 ppm.
pH	:	No reportado.
Temperatura de Ebullición	:	69°C
Temperatura de Fusión	:	-95°C
Densidad (Agua)	:	0.660 kg/L a 20°C
Presión de Vapor	:	124 mmHg a 20°C
Densidad de Vapor (Aire)	:	2.97
Solubilidad	:	Insoluble en Agua. Soluble en la mayoría de los Solventes Orgánicos.

**IDENTIFICACION DE RIESGOS**

Riesgo Principal	:	Inflamable
Riesgos Secundarios	:	Nocivo, Reactivo e Irritante
Código Winkler	:	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>2 LEVE</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>3 GRAVE</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>2 MUY TOXICO</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>2 CORROSIVO</p> </div> <div style="font-size: small;"> <p>Clasificación de riesgos:                      1 = No peligroso                      2 = Leve                      3 = Moderado                      4 = Grave                      5 = Extremo</p> </div> </div>
Rótulo de Transporte:	:	 <div style="float: right;"><b>Norma NFPA</b></div>
Clase	:	3 <span style="float: right;">1 - 3 - 0</span>
Condiciones a Evitar	:	Calor, llamas y otras fuentes de ignición.

Figura D.4. Extracto de la ficha de seguridad del hexano al 98,5 %



### ALMACENAMIENTO

<b>Area de Almacenamiento</b>	:	Zona de almacenaje de reactivos y soluciones químicas con riesgo de inflamación. Almacenamiento en bodegas y/o cabinas, diseñadas para contener inflamables. Lugar frío, seco y con buena ventilación - Proteger de la luz solar directa. Disponer de algún medio de contención de derrames. Acceso controlado y señalización del riesgo.
<b>Código de almacenaje Winkler</b>	:	Rojo 
<b>Precauciones Especiales</b>	:	Mantener alejado de condiciones y sustancias incompatibles. Sistema eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Proteger contra el daño físico. Tener los envases cerrados y debidamente etiquetados.

### MEDIDAS PARA EL CONTROL DE DERRAMES O FUGAS

#### PROCEDIMIENTO

Contener el derrame o fuga.  
Ventilar y aislar el área crítica.  
Utilizar elementos de protección personal - Nivel de protección A o B.  
Contar con algún medio de extinción contra incendios.  
Absorber el derrame con un material o producto inerte.  
Recoger el producto a través de una alternativa segura - Disponer el producto recogido como residuo químico.  
Limpiar completamente la contaminada.  
Solicitar ayuda especializada si es necesaria - Aplicar Guía de Respuesta a Emergencia Americana (Guía N°128).

### DISPOSICION DE RESIDUOS QUIMICOS

En general, los residuos químicos se pueden eliminar a través de una alternativa segura, una vez que se acondicionen de forma tal de ser inocuos para el medio ambiente.

#### Alternativas:

- Ver la posibilidad de recuperar por medio del proceso de destilación u otra alternativa segura.
- También, se pueden evaporar en pequeñas cantidades y con precaución bajo campana de laboratorio o tratar en una planta incineradora autorizada.

Es importante considerar para la eliminación de residuos, que se realice conforme a lo que disponga la autoridad competente respectiva, solicitándose previamente la autorización correspondiente.

Figura D.4. Extracto de la ficha de seguridad del hexano al 98,5 % (continuación)



**winkler** Ficha de Seguridad Química

**ALCOHOL ETÍLICO**

**DESCRIPCIÓN**

Simónimos	:	Etanol - Alcohol Absoluto - Etil Hidróxido - Metil Carbinol - Etil Hidrato.
Formula Química	:	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O
Concentración	:	99.5%
Peso molecular	:	46.07
Grupo Químico	:	Compuesto Orgánico - Alcohol.
Número CAS	:	64-17-5
Número NU	:	1170
Código Winkler	:	AL-0205

**PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

Estado Físico	:	Líquido.
Apariencia	:	Incoloro.
Olor	:	Olor característico fragante - Umbral del olor: 100 a 180 ppm.
pH	:	No reportado.
Temperatura de Ebullición	:	78.3°C
Temperatura de Fusión	:	-114.0°C
Densidad (Agual)	:	0.789 kg/L a 20°C
Presión de Vapor	:	44.3 mmHg a 20°C
Densidad de Vapor (Aire1)	:	1.59
Solubilidad	:	Soluble en todas proporciones en Agua a 20°C. Soluble en Cetonas, Esteres, E teres, Glicoles y otros Alcoholes.

**IDENTIFICACION DE RIESGOS**

Riesgo Principal	:	Inflamable
Riesgos Secundarios	:	Nocivo - Irritante y Reactivo leves
Código Winkler	:	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: blue; color: white; padding: 5px; width: 30px; height: 30px; margin: 0 auto;">2</div> <p style="font-size: 8px; margin: 0;">total</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: red; color: white; padding: 5px; width: 30px; height: 30px; margin: 0 auto;">3</div> <p style="font-size: 8px; margin: 0;">severos</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: yellow; padding: 5px; width: 30px; height: 30px; margin: 0 auto;">1</div> <p style="font-size: 8px; margin: 0;">leves</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30px; height: 30px; margin: 0 auto;">1</div> <p style="font-size: 8px; margin: 0;">extremos</p> </div> </div> <div style="font-size: 8px; margin-left: 20px;"> <p>Clasificación de Riesgo</p> <p>3 = Moderado</p> <p>2 = Moderado</p> <p>1 = Leve</p> <p>0 = No reportado</p> <p>4 = Severo</p> </div>
Rótulo de Transporte:	:	<div style="float: right; text-align: right;"> <p><b>Norma NFPA</b></p> </div>
Clase	:	3

0 - 3 - 0

Figura D.5. Extracto de la ficha de seguridad del etanol al 99,5 %

### ALMACENAMIENTO

<b>Area de Almacenamiento</b>	:	Zona de almacenaje de reactivos y soluciones químicas con riesgo de inflamación. Almacenamiento en bodegas y/o cabinas, diseñadas para contener inflamables. Lugar frío, seco y con buena ventilación. Disponer de algún medio de contención de derrames. Acceso controlado y señalización del riesgo.
<b>Código de almacenaje Winder</b>	:	Rojo
<b>Precauciones Especiales</b>	:	Almacenar separadamente de condiciones y productos incompatibles. Sistema eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Proteger contra el daño físico. Mantener los envases cerrados y debidamente etiquetados.

### MEDIDAS PARA EL CONTROL DE DERRAMES O FUGAS

#### PROCEDIMIENTO

Contener el derrame o fuga.  
Ventilar y aislar el área crítica.  
Alejar y/o apagar cualquier fuente de ignición.  
Utilizar elementos de protección personal - Nivel de protección B o C.  
Contar con algún medio de extinción de incendios.  
Absorber el derrame utilizando un material o producto inerte.  
Recoger el producto a través de una alternativa segura y disponerlo como residuo químico.  
Lavar la zona contaminada con Agua.  
Solicitar ayuda especializada si es necesaria - Apoyarse con la Guía de Respuesta a Emergencia Americana (Guía N°127).

### DISPOSICION DE RESIDUOS QUIMICOS

En general, los residuos químicos se pueden eliminar a través de las aguas residuales, por el desagüe u otra alternativa segura, una vez que se acondicionen de forma tal de ser inocuos para el medio ambiente.

#### Posibilidades:

- Ver la posibilidad de recuperar el Alcohol por medio del proceso de destilación u otra alternativa segura.
- También, se pueden evaporar en pequeñas cantidades y con precaución bajo campana de laboratorio o tratar en una planta incineradora autorizada.
- Otra alternativa, es diluir con Agua en una proporción de 1:20 u otra que sea necesaria y luego eliminar en las aguas residuales o por el desagüe. Evitar concentraciones inflamables por riesgo de incendio.

Es importante considerar para la eliminación de residuos, que se realice conforme a lo que disponga la autoridad competente respectiva, solicitándose previamente la autorización correspondiente.

Figura D.5. Extracto de la ficha de seguridad del etanol al 99,5 % (continuación)



**winkler** Ficha de Seguridad Química

**TOLUENO**

**DESCRIPCIÓN**

Sinónimos	: Metilbenceno - Fenilmetano - Metilbenzol.
Formula Química	: C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>
Concentración	: 99.5%
Peso molecular	: 92.14
Grupo Químico	: Sustancia Organica - Hidrocarburo Aromático.
Número CAS	: 108-88-3
Número NU	: 1294
Código Winkler	: TO-1640

**PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

Estado Físico	: Líquido.
Apariencia	: Incoloro.
Olor	: Ligero olor característico a Benceno - Umbral del olor: 0.16 - 37 ppm.
pH	: No reportado.
Temperatura de Ebullición	: 110.6°C
Temperatura de Fusión	: -95°C
Densidad (Agua)	: 0.860 kg/L a 20°C
Presión de Vapor	: 22 mmHg a 20°C
Densidad de Vapor (Aire)	: 3.10
Solubilidad	: Baja solubilidad en Agua (54 - 58 mg por 100 ml de Agua a 25°C). Soluble en Alcohol Etilico, Diétil Eter, Acetona, Benceno, Etil Acetato y Cloroformo.

**IDENTIFICACION DE RIESGOS**

Riesgo Principal	: Inflamable
Riesgos Secundarios	: Nocivo - Irritante leve
Código Winkler	: <div style="float: right; font-size: small;">             Clasificación de Riesgos:              0 = No riesgo              1 = Menor              2 = Moderado              3 = Severo              4 = Extremo         </div>
Rotulo de Transporte:	: <b>Norma NFPA</b>
Clase	: 3 <span style="float: right;">2 - 3 - 0</span>
Grupo	: II

Figura D.6. Extracto de la ficha de seguridad del tolueno al 99,5 %

### ALMACENAMIENTO

<b>Area de Almacenamiento</b>	:	Zona de almacenaje de reactivos y soluciones químicas con riesgo de inflamación. Almacenamiento en bodegas y/o cabinas, diseñadas para contener inflamables. Lugar frío, seco y con buena ventilación. Disponer de algún medio de contención de derrames. Acceso controlado y señalización del riesgo.
<b>Código de almacenaje Winkler</b>	:	Rojo 
<b>Precauciones Especiales</b>	:	Almacenar separado del resto de las sustancias inflamables. Mantener alejado de condiciones y sustancias incompatibles. Sistema eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Proteger contra el daño físico. Tener los envases cerrados y debidamente etiquetados.

### MEDIDAS PARA EL CONTROL DE DERRAMES O FUGAS

#### PROCEDIMIENTO

Contener el derrame o fuga.  
Ventilar y aislar el área crítica.  
Utilizar elementos de protección personal - Nivel de Protección B o C.  
Contar con algún medio de extinción contra incendios.  
Absorber el derrame con un material o producto inerte.  
Recoger el producto a través de una alternativa segura - Disponer el producto recogido como residuo químico.  
Lavar la zona contaminada con Agua.  
Solicitar ayuda especializada si es necesaria.  
Aplicar Guía de Respuesta a Emergencias Americana (Guía N°130).

### DISPOSICION DE RESIDUOS QUIMICOS

En general, los residuos químicos se pueden eliminar a través de una alternativa segura, una vez que se acondicionan de forma tal de ser inocuos para el medio ambiente.  
Alternativas:  
- Ver la posibilidad de recuperar por medio del proceso de destilación u otra alternativa segura.  
- También, se pueden evaporar en pequeñas cantidades y con precaución bajo campana de laboratorio o tratar en una planta incineradora autorizada.  
  
Es importante considerar para la eliminación de residuos, que se realice conforme a lo que disponga la autoridad competente respectiva, solicitándose previamente la autorización correspondiente.

Figura D.6. Extracto de la ficha de seguridad del tolueno al 99,5 % (continuación)



**winkler** Ficha de Seguridad Química

**ACIDO ACÉTICO GLACIAL**

**DESCRIPCIÓN**

Sinónimos	: Acido Acético - Acido Etanoico - Acido Metanocarboxilico - Acido Etilico - Acido de Vinagre.
Formula Química	: $C_2H_4O_2$
Concentración	: 99.7%
Peso molecular	: 60.05
Grupo Químico	: Acido Organico - Acido Carboxilico Alifatico Saturado.
Numero CAS	: 64-19-7
Numero NU	: 2789
Código Winkler	: AC-0030

**PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS**

Estado Físico	: Líquido.
Apariencia	: Incoloro.
Olor	: Fuerte olor a vinagre. Umbral del olor: 0.04 - 0.15 ppm
pH	: 2.4 (solución acuosa 1M a 20°C).
Temperatura de Ebullición	: 117.9°C
Temperatura de Fusión	: 16.6°C
Densidad (Agua)	: 1.04 kg/L a 20°C
Presión de Vapor	: 11.4 mmHg a 20°C
Densidad de Vapor (Aire)	: 2.07
Solubilidad	: Soluble en todas proporciones en Agua. Soluble en Alcohol Etilico, Benceno, Acetona, Diétil Eter y Glicerol.

**IDENTIFICACION DE RIESGOS**

Riesgo Principal	: Corrosivo
Riesgos Secundarios	: Nocivo, Combustible y Reactivo
Código Winkler	: <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">   <small>Corrosivo</small> </div> <div style="text-align: center;">   <small>Extremadamente inflamable</small> </div> <div style="text-align: center;">   <small>Inflamable</small> </div> <div style="text-align: center;">   <small>Reactiva</small> </div> </div>
Rotulo de Transporte:	: <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="text-align: right;"> <p><b>Norma NFPA</b></p> <p>3 - 2 - 0</p> </div> </div>
Clase	: 8

Figura D.7. Extracto de la ficha de seguridad del ácido acético glacial al 99,7 %



**ALMACENAMIENTO**

<b>Area de Almacenamiento</b>	:	Zona de almacenaje de reactivos y soluciones químicas con riesgo por contacto. Almacenamiento en bodegas y/o cabinas, diseñadas para contener corrosivos. Lugar fresco a frio, seco y con buena ventilación - Proteger de la luz solar. Disponer de algún medio de contención de derrames. Acceso controlado y señalización del riesgo.
<b>Código de almacenaje Winkler</b>	:	Blanco Separado <input type="text"/>
<b>Precauciones: Especiales</b>	:	Almacenar separadamente del resto de los productos corrosivos. Mantener alejado de condiciones y sustancias incompatibles. Sistema eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Proteger contra el daño físico. Tener los envases cerrados y debidamente etiquetados.

**MEDIDAS PARA EL CONTROL DE DERRAMES O FUGAS**

<b>PROCEDIMIENTO</b>
<p>Contener el derrame o fuga. Ventilar y aislar el área crítica. Utilizar elementos de protección personal - Nivel de protección B o C. Contar con algún medio de extinción de incendios. Absorber el derrame con un material o producto inerte. Neutralizar. Recoger el producto a través de una alternativa segura - Disponer el producto recogido como residuo químico. Lavar la zona contaminada con Agua. Solicitar ayuda especializada si es necesaria - Aplicar Guía de Respuesta a Emergencia Americana (Guía N°132).</p>

**DISPOSICION DE RESIDUOS QUIMICOS**

<p>En general, los residuos químicos se pueden eliminar a través de las aguas residuales, por el desagüe u otra alternativa segura, una vez que se acondicionen de forma tal de ser inocuos para el medio ambiente.</p> <p>Possibilidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diluir con Agua aproximadamente en una proporción 1:5 y después neutralizar hasta pH 6-8, adicionando una solución de Sodio Hidroxido al 30% o escamas del mismo producto. La solución salina resultante, se diluye luego con más Agua en una proporción 1:10 u otra que sea necesaria y posteriormente se elimina por las aguas residuales o por el desagüe.</li> <li>- Otra posibilidad para Acidos en estado líquido, es evaporarlos en pequeñas cantidades bajo campana de laboratorio o tratarlos en una planta incineradora autorizada.</li> </ul> <p>Es importante considerar para la eliminación de residuos, que se realice conforme a lo que disponga la autoridad competente respectiva, solicitándose previamente la autorización correspondiente.</p>
--

Figura D.7. Extracto de la ficha de seguridad del ácido acético glacial al 99,7 % (continuación)



**winkler** Ficha de Seguridad Química

**ACIDO CLORHIDRICO 0.01N**

**DESCRIPCIÓN**

Simónimos	: Acido Clorhídrico en solución - Acido Hidroclórico en solución - Cloruro de Hidrógeno en solución.
Formula Química	: HCl
Concentración	: 0.04%
Peso molecular	: 36.46
Grupo Químico	: Acido Inorgánico.
Número CAS	: 7647-01-0
Número NU	: 1789 (Acido Clorhidrico en solución).
Código Winkler	: 30020

**PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS**

Estado Físico	: Líquido.
Apariencia	: Transparente de apariencia incolora.
Olor	: Olor irritante.
pH	: 2.0 (solución acuosa 0.02N a 20°C).
Temperatura de Ebullición	: 100°C aproximadamente.
Temperatura de Fusión	: Entre -1°C y 0°C
Densidad (Agua)	: 1.00 kg/L a 20°C
Presión de Vapor	: No reportado.
Densidad de Vapor (Aire)	: No reportado.
Solubilidad	: Completamente soluble en Agua. Muy soluble en Alcoholes.

**IDENTIFICACION DE RIESGOS**

Riesgo Principal	: Corrosivo
Riesgos Secundarios	: Nocivo y Reactivo
Código Winkler	: <div style="float: right; font-size: small;">             Clasificación de Riesgo:              0 = No reportado              1 = Ligero              2 = Moderado              3 = Severo              4 = Extremo         </div>
Rótulo de Transporte:	: <div style="float: right;"><b>Norma NFPA</b></div>
Clase	: 8

2-0-1

Figura D.8. Extracto de la ficha de seguridad del ácido clorhídrico 0,01 N

### ALMACENAMIENTO

<b>Area de Almacenamiento</b>	:	Zona de almacenaje de reactivos y soluciones químicas con riesgo por contacto. Almacenamiento en bodegas, cabinas o estanques, diseñados con resistencia para contener sustancias corrosivas. Lugar fresco, seco y con buena ventilación - Proteger de la luz solar. Contar con medios de contención de derrames. Acceso controlado y señalización del riesgo.
<b>Código de almacenaje Winkler</b>	:	Blanco <input type="text"/>
<b>Precuciones Especiales</b>	:	Almacenar separadamente de condiciones y productos incompatibles. Proteger contra el daño físico. Mantener los envases cerrados y debidamente etiquetados.

### MEDIDAS PARA EL CONTROL DE DERRAMES O FUGAS

<b>PROCEDIMIENTO</b>
Contener el derrame o fuga. Ventilar el área y aislar la zona crítica. Neutralizar con Calcio Hidróxido o Sodio Bicarbonato, ambos como polvos. Utilizar elementos de protección personal - Nivel de protección B, C o D. Absorber por medio de un material o producto inerte, como la Arena. Recoger el producto a través de una alternativa segura. Disponer el producto recogido como residuo químico. No eliminar por desagües o cursos de agua. Lavar la zona contaminada con bastante Agua. Solicitar ayuda especializada si es necesaria. Apoyarse con la Guía de Respuesta a Emergencias Americana (Guía N°157).

### DISPOSICION DE RESIDUOS QUIMICOS

En general, los residuos químicos se pueden eliminar a través de las aguas residuales o por el desagüe, una vez que se acondicionen de forma tal de ser inocuos para el medio ambiente.  Para pequeñas cantidades: Diluir con Agua y después neutralizar hasta pH 6 - 8, adicionando Sodio Hidróxido diluido. La solución salina resultante, se diluye si es necesario con más Agua y luego se elimina en las aguas residuales o por el desagüe.  Es importante considerar para la eliminación de residuos, que se realice conforme a lo que disponga la autoridad competente respectiva, solicitándose previamente la autorización correspondiente.
--

Figura D.8. Extracto de la ficha de seguridad del ácido clorhídrico 0,01 N (continuación)



**winkler** Ficha de Seguridad Química

**SODIO CLORURO**

**DESCRIPCIÓN**

Sinónimos:	: Cloruro de Sodio - Cloruro Sódico - Sal Común.
Formula Química:	: NaCl
Concentración:	: 99.0%
Peso molecular:	: 58.44
Grupo Químico:	: Compuesto Inorgánico de Sodio - Sal de Sodio Inorgánica.
Número CAS:	: 7647-14-5
Número NU:	: No regulado.
Código Winkler:	: SO-1455

**PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

Estado Físico:	: Sólido.
Apariencia:	: Polvos cristalinos blancos - Son higroscópico.
Olor:	: Sin olor.
pH:	: 5.0 - 9.0 (solución acuosa al 5% a 25°C).
Temperatura de Ebullición:	: 1413 - 1465°C
Temperatura de Fusión:	: 801°C
Densidad (Agua):	: 2.164 g/L a 20°C
Presión de Vapor:	: 1.0 mmHg a 865°C
Densidad de Vapor (Aire):	: No reportado.
Solubilidad:	: Buena solubilidad en Agua (35.6 g por 100 ml de Agua a 20°C). Soluble en Alcoholes y Glicerol.

**IDENTIFICACION DE RIESGOS**

Riesgo Principal:	: Irritante y Nocivo leves
Riesgos Secundarios:	: No hay
Código Winkler:	: <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: blue; color: white; padding: 5px; width: 30px; height: 30px; margin: 0 auto;">1</div> <small>leve</small> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: red; color: white; padding: 5px; width: 30px; height: 30px; margin: 0 auto;">0</div> <small>irritante</small> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: yellow; padding: 5px; width: 30px; height: 30px; margin: 0 auto;">0</div> <small>facile</small> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 30px; height: 30px; margin: 0 auto;">1</div> <small>corrosivo</small> </div> </div> <div style="margin-left: 20px;"> <small>Clasificación 4 = Muy peligroso 3 = Peligroso 2 = Moderado 1 = Levemente 0 = Extremamente</small> </div>
Rotulo de Transporte:	: <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 60px; height: 40px; margin: 0 auto;">No Determinado</div> <div style="text-align: right;"> <p><b>Norma NFPA</b></p> <p>1 - 0 - 0</p> </div> </div>

Figura D.9. Extracto de la ficha de seguridad del cloruro de sodio 99 %



### ALMACENAMIENTO

Area de Almacenamiento	:	Zona de almacenaje general de reactivos y soluciones químicas. Almacenamiento en bodegas y/o cabinas, diseñadas para contener p roductos químicos con seguridad. Lugar fresco a frio, seco y con buena ventilación. Señalización del riesgo.
Código de almacenaje Winkler	:	Verde <span style="background-color: green; color: black;">XXXXXX</span>
Precauciones Especiales	:	Almacenar separado de condiciones y productos incompatibles. Proteger contra el daño físico. Mantener los envases cerrados y debidamente etiquetados.

### MEDIDAS PARA EL CONTROL DE DERRAMES O FUGAS

#### PROCEDIMIENTO

Medidas Generales Este producto presenta condiciones de bajo riesgo, por lo que las medidas que se señalan a continuación, son sólo de carácter general frente a derrames y/o fugas de químicos:

Contener el derrame o fuga.

Ventilar el área.

Aislar el área crítica.

Utilizar elementos de protección personal.

Recoger el producto a través de una alternativa segura.

Disponer el producto recogido como residuo químico.

Lavar la zona contaminada con Agua.

Solicitar ayuda especializada si es necesaria.

### DISPOSICION DE RESIDUOS QUIMICOS

En general, los residuos químicos se pueden eliminar a través de las aguas residuales, por el desagüe o en un vertedero autorizado, una vez que se acondicionen de forma tal de ser inocuos para el medio ambiente.

Alternativas:

- Diluir con Agua en una proporción mínima de 1:20 u otra relación necesaria y luego eliminar en las aguas residuales o por el desagüe.

- Otra posibilidad, es disponer los residuos directamente a un vertedero autorizado para contenerlos.

Es importante considerar para la eliminación de residuos, que se realice conforme a lo que disponga la autoridad competente respectiva, solicitándose previamente la autorización correspondiente.

Figura D.9. Extracto de la ficha de seguridad del cloruro de sodio 99 % (continuación)



**winkler** Ficha de Seguridad Química

**POTASIO CLORURO 0.01M**

**DESCRIPCIÓN**

<b>Sinónimos</b>	:	Potasio Cloruro en solución - Cloruro de Potasio en solución - Potasio Monocloruro en solución - Acido Clorhídrico, Sal de Potasio en solución - Muriato de Potasio en solución - Silvita en solución.
<b>Formula Química</b>	:	KCl
<b>Concentración</b>	:	0.075%
<b>Peso molecular</b>	:	74.55
<b>Grupo Químico</b>	:	Compuesto de Potasio Inorgánico - Sal Inorgánica de Potasio.
<b>Número CAS</b>	:	7447-40-7
<b>Número NU</b>	:	No regulado.
<b>Código Winkler</b>	:	302405

**PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS**

<b>Estado Físico</b>	:	Líquido.
<b>Apariencia</b>	:	Incoloro.
<b>Olor</b>	:	Sin olor.
<b>pH</b>	:	5.4 - 8.6 (solución acuosa al 5% a 25°C).
<b>Temperatura de Ebullición</b>	:	100°C aproximadamente.
<b>Temperatura de Fusión</b>	:	0°C aproximadamente.
<b>Densidad (Agua)</b>	:	1.00 kg/L a 20°C
<b>Presión de Vapor</b>	:	No reportado.
<b>Densidad de Vapor (Aire1)</b>	:	No reportado.
<b>Solubilidad</b>	:	Soluble en Agua.

**IDENTIFICACION DE RIESGOS**

<b>Riesgo Principal</b>	:	Irritante leve
<b>Riesgos Secundarios</b>	:	Irritante leve
<b>Código Winkler</b>	:	
<b>Rótulo de Transporte:</b>	:	
		<p><b>Norma NFPA</b></p> <p>1-0-0</p>

Figura D.10. Extracto de la ficha de seguridad del cloruro de potasio 0,01 M

### ALMACENAMIENTO

<b>Area de Almacenamiento</b>	:	Zona de almacenaje general de reactivos y soluciones químicas. Almacenamiento en bodegas y/o cabinas, diseñadas para contener productos químicos con seguridad. Lugar fresco a frío, seco y con buena ventilación. Disponer de algún medio de contención de derrames. Señalización del riesgo.
<b>Código de almacenaje Winlder</b>	:	Verde 
<b>Precauciones Especiales</b>	:	Almacenar separadamente de condiciones y productos incompatibles. Proteger contra el daño físico. Mantener los envases cerrados y debidamente etiquetados.

### MEDIDAS PARA EL CONTROL DE DERRAMES O FUGAS

#### PROCEDIMIENTO

##### Medidas Generales

Este producto presenta condiciones de bajo riesgo, por lo que las medidas que se señalan a continuación, son sólo de carácter general frente a derrames y/o fugas de químicos:

- Contener el derrame o fuga.
- Ventilar el área - Aislar la zona crítica.
- Utilizar elementos de protección personal.
- Absorber por medio de un material o producto inerte.
- Recoger el producto a través de una alternativa segura - Disponer el producto recogido como residuo químico.
- Lavar la zona contaminada con Agua.
- Solicitar ayuda especializada si es necesaria.

### DISPOSICION DE RESIDUOS QUIMICOS

En general, los residuos químicos se pueden eliminar a través de las aguas residuales o por el desagüe, una vez que se acondicionen de forma tal de ser inocuos para el medio ambiente.

#### Alternativas:

- Para Sales Ácidas: Como soluciones acuosas se mezclan inicialmente con Sodio Carbonato o Sodio Bicarbonato en polvo, después de lo cual se diluyen con abundante Agua y se vierten neutralizadas en las aguas residuales o por el desagüe.
- Para Sales Básicas: Se mezclan con Sulfato Ácido de Sodio sólido y se disuelve en Agua, eliminando luego en las aguas residuales o por el desagüe en forma de soluciones diluidas neutralizadas (pH 6-8).
- En caso de Sales de bajo riesgo, se pueden diluir con Agua en una proporción mínima de 1:20 u otra relación necesaria y luego eliminar en las aguas residuales o por el desagüe.

Es importante considerar para la eliminación de residuos, que se realice conforme a lo que disponga la autoridad competente respectiva, solicitándose previamente la autorización correspondiente.

Figura D.10. Extracto de la ficha de seguridad del cloruro de potasio 0,01 M (continuación)

**ACIDO OXÁLICO 0.1N****DESCRIPCIÓN**

Sinónimos	:	Acido Oxálico Dihidratado en solución - Acido Etanodioco Dihidratado en solución - Acido Etanodiónico Dihidratado en solución.
Formula Química	:	$H_2C_2O_5 \cdot 2H_2O$
Concentración	:	0.63%
Peso molecular	:	126.07
Grupo Químico	:	Acido Orgánico - A
Número CAS	:	6153-56-6 (Acido Oxálico 2-Hidrato). 144-62-7 (Acido Oxálico Anhidro).
Número NU	:	No regulado.
Código Winkler	:	30095

**PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS**

Estado Físico	:	Líquido.
Apariencia	:	Incoloro.
Olor	:	Sin olor.
pH	:	1.3 (solución acuosa 0.1M a 20°C).
Temperatura de Ebullición	:	100°C aproximadamente.
Temperatura de Fusión	:	0°C aproximadamente.
Densidad (Agua)	:	1.0 kg/L a 20°C aproximadamente.
Presión de Vapor	:	No reportado.
Densidad de Vapor (Aire)	:	No reportado.
Solubilidad	:	Soluble en Agua. Soluble en Alcoholes.

**IDENTIFICACION DE RIESGOS**

Riesgo Principal	:	Nocivo e Irritante
------------------	---	--------------------

Figura D.11. Extracto de la ficha de seguridad del ácido oxálico 0,1 N

### DISPOSICION DE RESIDUOS QUIMICOS

En general, los residuos químicos se pueden eliminar a través de las aguas residuales o por el desagüe, una vez que se acondicionen de forma tal de ser inocuos para el medio ambiente.

Posibilidades:

- Diluir con Agua y después neutralizar hasta pH 6-8, adicionando una solución de Sodio Hidróxido diluido. La solución salina resultante, se diluye si es necesario con más Agua y luego se elimina por las aguas residuales o por el desagüe.
- En particular, para compuestos de bajo riesgo, una vez neutralizados se pueden diluir en Agua en una proporción mínima de 1:20 u otra que sea necesaria, para luego eliminar por las aguas residuales o por el desagüe

Es importante considerar para la eliminación de residuos, que se realice conforme a lo que disponga la autoridad competente respectiva, solicitándose previamente la autorización correspondiente.

### INFORMACION REGLAMENTARIA

Decreto N°594 "Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo".

Decreto N°40 "Reglamento sobre Prevención de Riesgos Profesionales".

NCh 382.Of1998 "Sustancias Peligrosas - Terminología y Clasificación General".

NCh 1411.TV.Of1978 "Prevención de Riesgos - Parte 4: Identificación de Riesgos de Materiales".

NCh 2245.Of2003 "Sustancias Químicas - Hojas de Datos de Seguridad - Requisitos".

NCh 2137.Of1992 "Sustancias Peligrosas - Embalajes y Envases - Terminología".

Ley N°19300 "Bases Generales del Medio Ambiente".

Reglamentación SESMA: Página web: [www.sesma.cl](http://www.sesma.cl)

American Conference of Governmental Hygienists, ACGIH - Threshold Limit Value - USA.

Vigente desde 22/01/2007 version N°1

Este documento solo podrá ser impreso, no soportando modificaciones, copia, o edición.

Figura D.11. Extracto de la ficha de seguridad del ácido oxálico 0,1 N (continuación)



**Tabla D.2. Costo de equipos, reactivos, material de vidrio y complementarios en su moneda de origen**

Equipos y materiales	Precio en bolívares (Bs.F/unidad)	Precio en euros (€unidad)
Bomba peristáltica	-----	94,6
Tanques o bidones (40L)	-----	10,10
Tanques o bidones (10L)	-----	2,82
Centrífuga	-----	325,00
pH-metro	-----	204,00
Dióxido de titanio (1kg)	60,00	-----
Peróxido de hidrógeno 3% v/v (250mL)	5,60	-----
Perlas de ebullición (454g)	-----	123,50
"h" de vidrio	1000,00	-----
Batería para carro (700A)	800,00	-----
Pila de bombeo	350,00	-----
Agitador magnético	2,15	-----
Frascos ámbar con tapa (20mL)	-----	1,00
Agitador magnético	2,80	-----
Jeringa (1mL)	-----	3,00
Jeringa (20mL)	-----	3,50
Mangueras (m)	-----	12,00
Propipeta de goma	23,50	-----
Válvula 3 vías	66,31	-----
Soporte metálico (m)	-----	50,00
Grapas para madera	-----	1,00
Tirack (Paq.)	-----	25,00
Tornillos autorroscantes	-----	0,50
Codos 1/2"	-----	4,00
Te plástica	12,69	-----
Tirro plomo	-----	55,00

**Tabla D.3. Precio de los reactivos minimizados al aplicar las alternativas planteadas**

Reactivos	Precio del reactivo (\$/g, \$/kg ó \$/L)
Etanol $\geq$ 99,5% (25 L)	1895,04
KCl $\geq$ 99,0% (1 kg)	141,45
Ác. Oxálico $\geq$ 99,0% (250 g)	41,15
NaOH $\geq$ 99,0% (500 g)	408,79
HCl 37 % (2,5 L)	138,07
Ácido acético glacial (2,5 L)	95,83



**APÉNDICE E. MODIFICACIONES METODOLÓGICAS PROPUESTAS:** A continuación se exponen de forma tabulada los segmentos de las metodologías de las prácticas experimentales a las cuales se propone alguna modificación.



Tabla E.1. Modificaciones metodológicas propuestas

Práctica	Residuos involucrados	Objetivos adicionados o modificados	Metodología actual	Metodología propuesta
Calorimetría	HNO <sub>3</sub> titulado	No aplica	“Lavar la bomba calorimétrica con agua destilada, recoger esta agua. Titular el agua recuperada con hidróxido de sodio, utilizando fenoltaleína como indicador.”	Medir 5 mL de agua destilada con el cilindro graduado de (10,0 ± 0,1) mL. Lavar la bomba calorimétrica con el volumen de agua medido y recogerla. Titular el agua recuperada con hidróxido de sodio, utilizando fenoltaleína como indicador.
Equilibrio líquido-vapor	Exceso de n-hexano y exceso de etanol	<ul style="list-style-type: none"><li>• Construir la curva de calibración de índice de refracción en función de la composición molar de la mezcla n-hexano-etanol.</li></ul>	“Prepare las soluciones binarias de manera que cubran un rango del 0 al 100% p/p de n-hexano, con la ayuda de un picnómetro de 10 mL de capacidad. Inmediatamente después de preparar la solución, pésela y determine su índice de refracción. Realice el mismo procedimiento con todas las soluciones a preparar.”	En la campana extractora se encuentran dos (2) recipientes con los reactivos a emplear durante el desarrollo experimental; el primero de ellos contiene 110 mL de etanol que deben ser distribuidos de la siguiente manera: <ul style="list-style-type: none"><li>• 30 mL para la alimentación del calderín</li><li>• 55 mL para la realización de la curva de calibración</li><li>• 15 mL empleados durante la destilación</li><li>• 10 mL para garantizar que no se succionará aire con las pipetas</li></ul> El segundo recipiente posee 95 mL de n-hexano que deben ser utilizados como se indica a continuación: <ul style="list-style-type: none"><li>• 30 mL para la alimentación del calderín</li><li>• 55 mL para la realización de la curva de calibración</li><li>• 10 mL para garantizar que no se succionará aire con las pipetas</li></ul> Prepare las soluciones binarias de manera que cubran un rango del 0 al 100% p/p de n-hexano, con la ayuda de un picnómetro de 10 mL de capacidad. Inmediatamente después de preparar la solución, pésela y determine su índice de refracción. Realice el mismo procedimiento con todas las soluciones a preparar.



Tabla E.1. Modificaciones metodológicas propuestas (continuación)

Práctica	Residuos involucrados	Objetivos adicionados o modificados	Metodología actual	Metodología propuesta
Equilibrio líquido-vapor	Exceso de n-hexano y exceso de etanol	<ul style="list-style-type: none"><li>• Construir la curva de calibración de índice de refracción en función de la composición molar de la mezcla n-hexano-etanol.</li></ul>		La solución de 0 % p/p de n-hexano se debe almacenar temporalmente en un recipiente dispuesto para ello, para ser utilizada luego en el lavado del calderín cuando llegue el momento; mientras que la solución de 100 % p/p de n-hexano debe ser devuelta al recipiente del cual fue tomado.
Equilibrio líquido-vapor	Agua de enfriamiento	No aplica	“Encienda el refractómetro y verifique que la manguera de agua de enfriamiento esté conectada y en buen funcionamiento. No deje la lámpara del refractómetro encendida a menos que usted este determinando el índice de refracción de determinada solución. (Ver manual de operación del equipo).”	<p>Inicialmente chequee que las válvulas tres vías (HV-01, HV-02 y HV-03) que componen el sistema de recirculación, se encuentren posicionadas de manera tal que el agua empleada para el enfriamiento del refractómetro y del condensador inicialmente retornen al ATNK-1. Con la ayuda del técnico o del preparador encienda la PUMP-1, verifique el correcto funcionamiento del sistema de recirculación y enfriamiento, y posteriormente encienda el refractómetro.</p> <p>No deje la lámpara del refractómetro encendida a menos que usted este determinando el índice de refracción de determinada solución. (Ver manual de operación del equipo).</p> <p>Al transcurrir una hora de haber iniciado la práctica se debe emplear el agua contenida en el ATNK-2, para ello se posicionan las válvulas a fin de permitir el paso del fluido entre este recipiente y la PUMP-1, además de garantizar que el agua empleada para el enfriamiento de ambos equipos retorne a dicho recipiente.</p>



Tabla E.1. Modificaciones metodológicas propuestas (continuación)

Práctica	Residuos involucrados	Objetivos adicionales o modificados	Metodología actual	Metodología propuesta
Conductimetría	NaCl, HCl <sub>diluido</sub> , HAC <sub>conductimetría</sub> , HCl <sub>conductimetría</sub> , HAC <sub>diluido</sub> , KCl	<ul style="list-style-type: none"><li>Estudiar la variación de la conductividad respecto a la temperatura de las soluciones electrolíticas.</li></ul>	<p><b>Preparación de soluciones:</b></p> <p>Preparar la solución madre tomando una alícuota del electrolito débil (el volumen de la alícuota debe ser averiguado antes de realizar la práctica, con el técnico del laboratorio o el preparador), diluir hasta 250 mL de agua destilada. Identificar la solución preparada como solución 1.</p> <p>Preparar las siguientes soluciones:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Solución 2: 50 mL de solución 1 en agua destilada hasta un volumen de 100 mL.</li><li>Solución 3: 25 mL de solución 1 en agua destilada hasta un volumen de 100 mL.</li><li>Solución 4: 12,5 mL de solución 1 en agua destilada hasta un volumen de 100 mL.</li><li>Solución 5: 6 mL de solución 1 en agua destilada hasta un volumen de 100 mL.</li><li>Solución 6: 3 mL de solución 1 en agua destilada hasta un volumen de 100 mL.</li><li>Solución 7: 2 mL de solución 2 en agua destilada hasta un volumen de 100 mL.</li></ul>	<p>Las soluciones a utilizar en la práctica están preparadas e identificadas, se encuentran en quince (15) balones aforados herméticamente cerrados y contienen 50 mL de cada solución a emplear.</p> <p><b>Medición:</b></p> <p>Colocar todas las soluciones en un recipiente con agua (a temperatura ambiente), por lo menos durante 15 minutos.</p> <p>Medir la conductancia de cada una de las soluciones manteniéndolas en el baño de agua. Realizar 3 mediciones para cada solución. Al finalizar las mediciones, las soluciones deben ser devueltas al mismo recipiente del cual fueron tomadas y el agua empleada para el baño no debe ser desechada.</p> <p>Tomar un beaker de 3000 mL e introducir el volumen de agua empleado en el baño anterior y un agitador magnético, encender la plancha de calentamiento y el sistema de agitación, introducir un termómetro y esperar que el agua alcance 35 °C.</p>



Tabla E.1. Modificaciones metodológicas propuestas (continuación)

Práctica	Residuos involucrados	Objetivos adicionados o modificados	Metodología actual	Metodología propuesta
Conductimetría	NaCl, HCl <sub>diluido</sub> , HAC <sub>conductimetría</sub> , HCl <sub>conductimetría</sub> , HAC <sub>diluido</sub> , KCl	<ul style="list-style-type: none"><li>Estudiar la variación de la conductividad respecto a la temperatura de las soluciones electrolíticas.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Solución 8: 1 mL de solución 2 en agua destilada hasta un volumen de 100 mL.</li></ul> <p>Medir la cantidad calculada (en masa o en volumen, según el estado en se encuentra el electrolito fuerte) necesaria para preparar 250 mL de solución de concentración 0,01 M. Identificar la solución preparada como Solución A.</p> <p>Preparar las siguientes soluciones:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Solución B: 50 mL de solución A en agua destilada hasta un volumen de 100 mL.</li><li>Solución C: 25 mL de solución A en agua destilada hasta un volumen de 100 mL.</li><li>Solución D: 12,5 mL de solución A en agua destilada hasta un volumen de 100 mL.</li><li>Solución E: 6 mL de solución A en agua destilada hasta un volumen de 100 mL.</li><li>Solución F: 3 mL de solución A en agua destilada hasta un volumen de 100 mL.</li></ul> <p><b>Medición:</b> Colocar todas las soluciones preparadas en un recipiente con agua (a temperatura ambiente), por lo menos durante 15 minutos. Medir la conductancia de cada una de las soluciones incluyendo las soluciones madres, manteniéndolas en el baño de agua. Realizar 3 mediciones para cada solución."</p>	<p>Verter cuidadosamente el agua caliente en el recipiente y colocar nuevamente las soluciones, esperar 15 minutos aproximadamente y repetir las mediciones de conductancia.</p> <p>Colocar nuevamente el agua empleada para el baño en el beaker de 3000 mL, repetir el procedimiento para realizar el calentamiento, esperar hasta alcanzar 50 °C y llevar a cabo nuevamente las mediciones de conductancia para todas las soluciones.</p>



Tabla E.1. Modificaciones metodológicas propuestas (continuación)

Práctica	Residuos involucrados	Objetivos adicionados o modificados	Metodología actual	Metodología propuesta
Adsorción	Ácido oxálico titulado	No aplica	<b>“Desarrollo experimental</b> Titular una pequeña cantidad de la solución madre de ácido de trabajo de concentración 0,15 M aproximadamente (ya se encuentra preparada). “	<b>Desarrollo experimental</b> Titular una alícuota de 5 mL de la solución madre de ácido de trabajo de concentración 0,15 M aproximadamente (ya se encuentra preparada). “

**Palabras claves:** residuos líquidos, manejo, minimización, recuperación, reutilización, disposición final.