

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Recuperación de cloruro de metileno usado en equipo de elaboración de esponjas

Trabajo de graduación presentado por Douglas Rennato Jui Mazariegos para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala

2024



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería




Recuperación de cloruro de metileno usado en equipo de elaboración de esponjas

Trabajo de graduación presentado por Douglas Rennato Jui Mazariegos para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala

2024

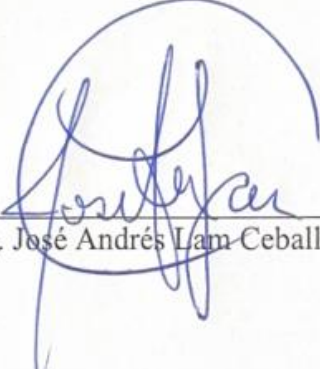
Vo. Bo.:

(f)   
Ing. Luis Ernesto Núñez González, M. Sc.

Tribunal Examinador:

(f)   
Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano, M. Sc

(f)   
Ing. Luis Ernesto Núñez González, M. Sc.

(f)   
Ing. José Andrés Lam Ceballos

Fecha de aprobación del examen de graduación: Guatemala, 08 de enero del 2025.

## **Prefacio**

Sin la colaboración y el apoyo de las siguientes personas, este trabajo de graduación no hubiera sido posible. A cada una de ellas les expreso mi más sincero agradecimiento por su dedicación, conocimiento y constante apoyo a lo largo de todo este proceso.

Primero, quiero agradecer a Dios, por darme el don de la vida, por siempre bendecirme y protegerme a lo largo de todo este proceso. Su presencia constante me ha dado la fortaleza y el valor necesarios para superar los retos que encontré en el camino.

Mis más sinceros agradecimientos son para mis padres, Douglas Jui y Magaly Mazariegos, quienes me brindaron la oportunidad de estudiar y siempre me han acompañado incondicionalmente. Gracias por su amor, por nunca dejarme solo y por ser el pilar fundamental de mi vida, tanto en los momentos de éxito como en los desafíos.

A mi hermana, Andrea Jui, le agradezco por estar siempre dispuesta a escucharme, aconsejarme y apoyarme. Sus palabras de aliento y comprensión me ayudaron a mantener la calma en los momentos difíciles y continuar avanzando con firmeza.

Agradezco profundamente al Ing. Luis Nuñez, mi asesor de tesis, por compartir su valioso conocimiento y por ayudarme a resolver cada inconveniente que surgió durante la elaboración de este trabajo. Su paciencia y guía fueron esenciales para la culminación de esta investigación. A mis amigos, gracias por estar siempre presentes con palabras de aliento y por recordarme que, con perseverancia y esfuerzo, todo es posible. Su compañía y ánimo fueron una fuente constante de energía para seguir adelante.

A mis catedráticos, les agradezco por haberme enseñado tanto durante mi carrera. Gracias a su dedicación y compromiso, pude adquirir los conocimientos necesarios para llevar a cabo este proyecto y forjar mi futuro profesional.

Finalmente, quiero agradecer a la Universidad del Valle de Guatemala, por brindarme su apoyo y por proporcionarme el equipo y los reactivos necesarios para desarrollar esta investigación. Su compromiso con la excelencia académica fue un pilar fundamental para alcanzar este logro. A Juan Pablo Chinchilla por su apoyo en la resolución de dudas, por

brindarme información clave y por proporcionar las muestras necesarias para el laboratorio, lo que fue fundamental para la realización de este proyecto de graduación

# Contenido

Prefacio .....	vii
Resumen.....	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. JUSTIFICACIÓN.....	2
III. OBJETIVOS.....	3
IV. MARCO TEORICO .....	4
A. Elaboración de esponjas.....	4
B. Cloruro de metileno .....	6
C. Recuperación .....	10
D. Impurezas.....	11
E. Filtración.....	11
F. Evaporación .....	19
G. Cromatografía de gases.....	25
V. Metodología.....	28
VI. Resultados .....	33
VII. Discusión.....	53
VIII. Conclusiones .....	60
IX. Recomendaciones.....	61
X. Bibliografía.....	62
XI. Anexos.....	66

## Lista de figuras

Figura 1. Diagrama de proceso de elaboración de esponjas de poliuretano .....	4
Figura 2. Filtro de lecho.....	13
Figura 3. Filtro de mangas .....	14
Figura 4. Filtro de hojas .....	15
Figura 5. Filtro de tambor rotatorio .....	17
Figura 6. Filtro de rotatorio de discos.....	17
Figura 7. Filtro de prensa de placas y marcos.....	18
Figura 8. Evaporador de circulación natural.....	20
Figura 9. Evaporador de tubos horizontales .....	21
Figura 10. Evaporador de tubos verticales.....	22
Figura 11. Evaporador vertical de tubos largos .....	23
Figura 12. Evaporador de circulación forzada.....	24
Figura 13. Esquema de cromatografía de gases.....	25
Figura 14. Balance de masa del proceso de filtración al vacío .....	33
Figura 15. Balance de masa del proceso de evaporación.....	34
Figura 16. Cromatograma del cloruro de metileno de grado industrial sin usar .....	36
Figura 17. Cromatograma del cloruro de metileno recuperado .....	38
Figura 18: Tabla t-Student .....	94
Figura 19. Cloruro de metileno sin usar .....	95
Figura 20. Cloruro de metileno recuperado .....	96
Figura 21. Diagrama de bloques del procedimiento .....	97
Figura 22. Cloruro de metileno adherido al recipiente de filtrado al vacío .....	99
Figura 23. Cloruro de metileno contaminado con residuos del proceso de elaboración de esponjas antes de comenzar con el proceso de evaporación.....	100
Figura 24. Residuo del proceso de evaporación del cloruro de metileno contaminado con residuos del proceso de elaboración de esponjas .....	101
Figura 25. Cloruro de metileno recuperado luego del a evaporación .....	102
Figura 26. Sistema de evaporación .....	103
Figura 27. Columna Vigreux .....	104
Figura 28. Cromatógrafo de gases de gases marca Aligent Technologies Serie 6850 .....	105

Figura 29. Bomba de vacío de la universidad del Valle de Guatemala .....	106
Figura 30. Balanza analítica utilizada en el proceso de investigación.....	107
Figura 31. Malla calefactora utilizada en el proceso de evaporación .....	108
Figura 32. Datos de placa de la bomba de vacío.....	109
Figura 33. Datos de placa del regulador de la bomba de vacío .....	110
Figura 34. Datos de placa de la balanza.....	111
Figura 35. Presión de bomba de vacío de la Universidad del Valle de Guatemala .....	112

## Lista de cuadros

Cuadro 1. Cloruro de metileno utilizado para limpiar el equipo de elaboración de esponjas.	28
Cuadro 2. Equipo utilizado para la realización de la filtración al vacío del cloruro de metileno contaminado.....	28
Cuadro 3. Cristalería utilizada para la realización de la filtración al vacío del cloruro de metileno contaminado.....	28
Cuadro 4. Cristalería utilizada para la evaporación del cloruro de metileno contaminado ....	30
Cuadro 5. Equipo utilizado para la elaboración del cloruro de metileno contaminado.....	30
Cuadro 6. Cristalería utilizada para el análisis por cromatografía de gases del cloruro de metileno evaporado.....	31
Cuadro 7. Rendimiento del proceso de filtración al vacío.....	33
Cuadro 8. Rendimiento del proceso de evaporación .....	34
Cuadro 9. Análisis de cromatografía de gases del cloruro de metileno sin usar .....	35
Cuadro 10. Análisis de cromatografía de gases del cloruro de metileno purificado .....	37
Cuadro 11. Cantidad de limpiezas que realizan durante un mes .....	66
Cuadro 12. Masa inicial y final del cloruro de metileno contaminado utilizado durante el proceso de filtración.....	66
Cuadro 13. Masas de los datos del proceso de evaporación.....	66
Cuadro 14. Análisis por cromatografía de gases del cloruro de metileno sin usar.....	67
Cuadro 15. Análisis por cromatografía de gases del cloruro de metileno recuperado .....	68
Cuadro 16. Datos necesarios para determinar el costo mensual de la compra del cloruro de metileno para limpiar el equipo de elaboración de esponjas de poliuretano .....	69
Cuadro 17. Temperatura inicial y final del cloruro de metileno luego del proceso de evaporación en grados Celsius.....	69
Cuadro 18. Datos para determinar la capacidad calorífica específica del cloruro de metileno en estado líquido. ....	69
Cuadro 19. Datos para determinar el calor latente del cloruro de metileno de fase líquido a gaseoso.....	70
Cuadro 20. Media del cambio de quetzales a dólares estimado en el último año.....	70
Cuadro 21. Precio de la luz determinado por EEGSA en Q/Kwh .....	70
Cuadro 22. Rango de eficiencia de evaporadores eléctricos de la marca Zewatech.....	70
Cuadro 23. Número de corridas a realizar .....	71
Cuadro 24. Datos calculados del proceso de filtración vacío .....	71

Cuadro 25. Estadística de los datos originales de filtración al vacío.....	71
Cuadro 26. Masa de pérdidas durante el proceso de evaporación .....	72
Cuadro 27. Concentración inicial del cloruro de metileno antes de la evaporación.....	72
Cuadro 28. Datos calculados del proceso de evaporación .....	72
Cuadro 29. Estadística de datos originales de evaporación. ....	73
Cuadro 30. Temperatura inicial y final del cloruro de metileno luego del proceso de evaporación en grados Kelvin.....	73
Cuadro 31. Capacidad calorífica específica del cloruro de metileno en estado líquido en un rango de temperatura entre 25°C a 40°C .....	73
Cuadro 32. Calor latente del cloruro de metileno de estado líquido a gaseoso a 40 grados Celsius.....	74
Cuadro 33. Costo mensual de la compra del cloruro de metileno y costo mensual de su eliminación.....	74
Cuadro 34. Energía necesaria para poder evaporar el cloruro de metileno usado en la elaboración de esponjas al mes a nivel industrial. ....	74
Cuadro 35. Precio de la luz determinado por EEGSA en Q/KJ.....	75
Cuadro 36. Costo de operación del proceso de evaporación en cada uno de los casos posibles .....	75
Cuadro 37. Ahorro mensual de la compra y eliminación de cloruro de metileno por el proceso de recuperación por evaporación. ....	75
Cuadro 38. Datos de placa de la malla calefactora. ....	98
Cuadro 39. Datos de placa de la bomba de vacío. ....	98
Cuadro 40. Datos de placa del regulador de la bomba de vacío. ....	98
Cuadro 41. Datos de placa de la balanza. ....	99

## Lista de ecuaciones

Ecuación: 1. Tamaño de muestra.....	76
Ecuación 2. Rendimiento del proceso de filtración.....	76
Ecuación 3. Masa de sólidos suspendidos filtrados.....	77
Ecuación 4. Valor promedio de una población.....	78
Ecuación 5. Desviación estándar.....	78
Ecuación 6. Masa inicial de evaporación.....	79
Ecuación 7. Punto de ebullición del cloruro de metileno en condiciones de Ciudad de Guatemala.....	79
Ecuación 8. Masa no evaporado.....	80
Ecuación 9. Masa de pérdidas durante la evaporación.....	80
Ecuación 10. Balance de masa del proceso de evaporación.....	81
Ecuación 11. Rendimiento del proceso de evaporación.....	82
Ecuación 12. Propagación de error para las multiplicaciones y divisiones.....	83
Ecuación 13. Propagación de error para sumas y restas.....	84
Ecuación 14. Conversión de grados Celsius a Kelvin.....	84
Ecuación 15. Calor específico de sustancia líquidas a determinada temperatura.....	85
Ecuación 16. Conversión de calor específico de J/Kmol*K a KJ/Kg*K.....	86
Ecuación 17. Determinación de Tr.....	86
Ecuación 18. Determinación de calor latente de fase líquida a gaseosa.....	86
Ecuación 19. Diferencia de temperatura media logarítmica.....	91
Ecuación 20. Ley Fundamental de la Transferencia de Calor.....	91
Ecuación 21. Prueba t de una muestra.....	92
Ecuación 22. Determinación de grados de libertad.....	93
Ecuación 23. Presión absoluta.....	95

## Resumen

Con el fin de determinar un método el cual fuera capaz de recuperar el cloruro de metileno utilizado como agente limpiador de equipos de elaboración de esponjas se realizó este trabajo de investigación. Se propuso como primer paso una filtración al vacío de donde se obtuvo una media del rendimiento de 92.77 % m/m con una desviación estándar de 1.52 % m/m, luego se realizó una evaporación donde se obtuvo una media de rendimiento de 96.10 % m/m con una desviación estándar de 1.22 % m/m. La muestra obtenida de la evaporación analizó con un cromatógrafo de gases de marca Agilent Technologies serie 6850 donde se determinó que la concentración del cloruro de metileno recuperado es de 99.47 % m/m, mientras que la del cloruro de metileno sin usar era de 97.64 % m/m, por lo que se concluye que el método propuesto para recuperar el cloruro de metileno contaminado es viable. Se realizó un análisis económico preliminar del proceso de recuperación planteado para el cloruro de metileno el cual indica un rango de ahorro de Q31,502.19 – Q31,547.96 mensual. Este ahorro se basó en los datos proporcionados por una empresa local de producción de esponjas de poliuretano.

# I. INTRODUCCIÓN

La industria de la producción de esponjas de poliuretano es fundamental a nivel global debido a la gran versatilidad que este material posee, se utiliza en productos que tienen aplicaciones desde industriales como médica. Para el proceso de fabricación de las esponjas de poliuretano se llevan a cabo reacciones entre polioles y diisocianatos, que al mezclarse forman el poliuretano, luego, se moldea y se cura para obtener una esponja de poliuretano que cumpla con las características que se buscan (García et al., 2010). En este proceso es necesario limpiar con regularidad el equipo de inyección de poliuretano para evitar que se acumulen residuos, para este proceso se utiliza comúnmente el cloruro de metileno como solvente y agente limpiador.

El cloruro de metileno es un solvente de alta volatilidad que se utiliza para la eliminación de los residuos de poliuretano que se quedan adheridas en el equipo de producción de las esponjas. Después de usar el cloruro de metileno, este queda contaminado con partículas de poliuretano lo que impide su reutilización. Dado a que el cloruro de metileno es un compuesto que posee regulaciones ambientales y que rigen su manejo, es necesario contratar empresas especializadas para una disposición adecuada (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2016).

Por esto recuperar el cloruro de metileno podría tener un impacto económico para una empresa local la cual se dedica a la elaboración de esponjas de poliuretano. Para ello, se podría realizar dos operaciones unitarias, las cuales son los procesos de filtración y el proceso de evaporación. El proceso de filtración consiste en pasar el cloruro de metileno contaminado a través de un filtro bajo vacío, lo que permite la eliminación de partículas sólidas de poliuretano y otras impurezas suspendidas. Este método facilita la separación física de los residuos sólidos, logrando una primera etapa de purificación del solvente (Vilcarin Salcedo, 2019). El proceso de evaporación, por otro lado, se enfoca en la eliminación de contaminantes líquidos y disueltos. El cloruro de metileno se somete a un calentamiento controlado, aprovechando su alta volatilidad, lo que provoca que el solvente se evapore, dejando atrás las impurezas pesadas. Posteriormente, el vapor de cloruro de metileno se condensa para obtener el solvente purificado (Prada Forero et al., 2015).

## II. JUSTIFICACIÓN

La industria de las esponjas de poliuretano es un sector de gran relevancia a nivel mundial y en Guatemala. Este material, versátil y de amplio uso, se emplea en aplicaciones domésticas, industriales y médicas. A nivel global, el mercado de las esponjas de poliuretano está valorado en 68,607.09 millones de dólares, con una demanda creciente impulsada por la expansión de los sectores de construcción, automotriz y bienes de consumo. En Guatemala, la industria de las esponjas de poliuretano también juega un papel crucial en la economía, proporcionando empleo a miles de personas y contribuyendo al desarrollo industrial del país (Girón Pacay, 2015).

Luego del proceso de fabricación de esponjas de poliuretano, el cloruro de metileno se utiliza como agente limpiador. Este solvente es eficaz para eliminar residuos y mantener el equipo de producción en condiciones óptimas. Sin embargo, una vez utilizado, el cloruro de metileno se contamina con poliuretano y otros residuos, lo que impide su reutilización. Esta situación plantea un problema, ya que la disposición del cloruro de metileno contaminado no solo genera costos adicionales, sino que también presenta riesgos ambientales (Chamba y Paredes, 2014).

Debido a que no se encontró un método técnico para poder recuperar el cloruro de metileno y que empresas locales tienen la problemática de contratar entidades externas para que se hagan cargo del cloruro de metileno contaminado lo cual provoca un costo extra, se realizó este trabajo de investigación que busca desarrollar un método el cual permita purificar el cloruro de metileno utilizado en el proceso de limpieza del equipo. El método que se implementó se divide en dos etapas principales: una filtración al vacío para eliminar los residuos sólidos de poliuretano y luego una evaporación para separar los contaminantes líquidos y las impurezas disueltas. Este enfoque permite que la recuperación del cloruro de metileno se realice en condiciones adecuadas para su reutilización.

### **III. OBJETIVOS**

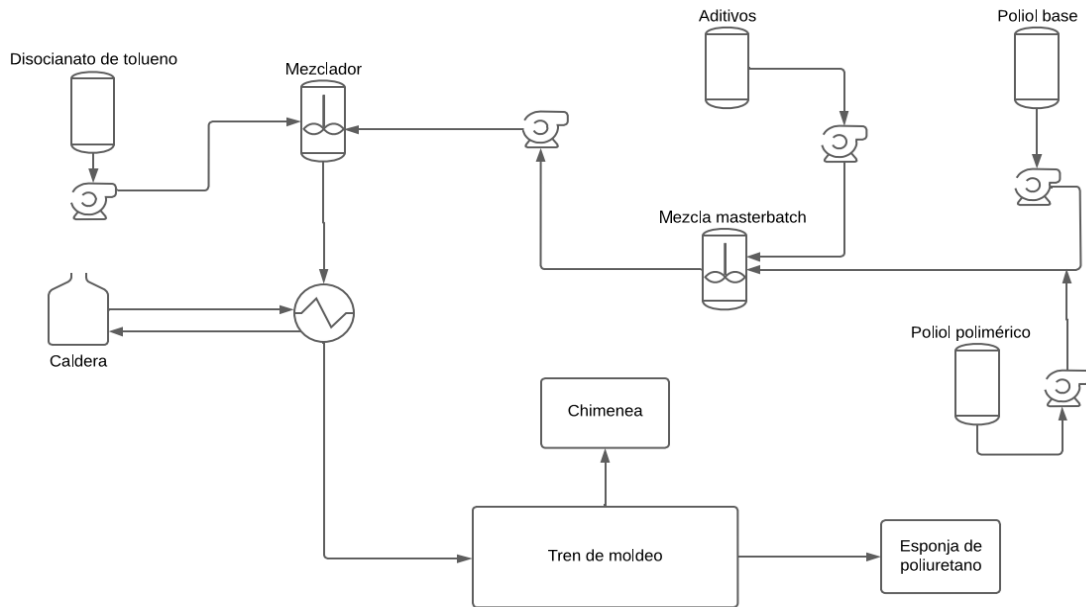
#### **A. General**

Purificar el cloruro de metileno usado como agente limpiador en el equipo de elaboración de esponjas para la reutilización del solvente por método de filtración y evaporación.

#### **B. Específicos**

1. Separar los residuos sólidos que lleva el cloruro de metileno a través del método de filtración al vacío para eliminar impurezas suspendidas en la solución.
2. Realizar una evaporación para separar el cloruro de metileno de las sustancias disueltas en este.
3. Determinar la pureza del cloruro de metileno tratado a través de un análisis de cromatografía de gases para compararlo con el cloruro de metileno puro.

## IV. MARCO TEORICO



**Figura 1.** Diagrama de proceso de elaboración de esponjas de poliuretano

(Correia et al., 2010)

### A. Elaboración de esponjas

#### 1. Proceso

Para la preparación de la espuma en planta hay dos métodos, los cuales son continuo o por lotes, el método continuo se realiza por medio de una dosificación automática en máquina mezcladora-pre formadora y el método por lotes se emplea un reactor y molde con poseen una dosificación manual.

Se dispone la materia prima en los estanques o en los depósitos que cuentan con sus respectivas bombas y desde ellos, de acuerdo con una dosificación preestablecida, esta materia prima es enviada por tuberías a una máquina mezcladora.

Cuando la espuma se comienza a formar en la mezcladora, es trasladada a una batea de acumulación y distribución, que luego pasa a un túnel de crecimiento y expansión. El túnel se encuentra recubierto de las paredes y el piso con papel Kraft y una lámina de polietileno, además, el piso del túnel avanza a una velocidad de dosificación preestablecida la cual recibe los compuestos de la mezcla.

Luego una vez que se termina la mezcla de los mismos se forma un bloque de espuma el cual es transportado a una cortadora o guillotina para que el bloque sea cortado en los tamaños ya preestablecidos para formar las esponjas. Cuando las esponjas se encuentran cortadas, estas son enviadas a los patios de curado por medio de grúas que deben estar acondicionadas especialmente, el proceso de curado tiene una duración de 24 horas, luego de este proceso la esponja se encuentra lista para ser almacenada y comercializada (Ruparelia, 2015).

## **2. Materiales**

- **Pilol:** alcohol poliéter de cadena larga reactivo principal, el cual con sus radicales OH se une al tolueno diisocianato o TDI para formar la espuma.
- **2,4 y 2, 6-Toluen diisocianato:** es un reactivo el cual con sus grupos CN se una al polioliol para formar la espuma.
- **Agua:** el agua reacciona con el TDI y funciona como agente soplante, esta reacción libera gas CO<sub>2</sub>, el cual hace que se formen las burbujas necesarias que forman la estructura celular o las celdillas de la espuma.
- **Silicona:** polidimetilsiloxona, surfactante no hidrolizable, disminuye la tensión superficial del polioliol lo cual hace que se mejore su capacidad de reacción, también aumenta la resistencia de las paredes de las celdas lo cual impide que la espuma se colapse.
- **Amina:** Trietilendiamina al 33 % en glicol de polipropileno, esta actúa como catalizador de la reacción entre el TDI y el agua.
- **Octato de estaño:** es una sal de estaño II del ácido 2-etilhexoico que actúa como catalizador de la reacción que sucede entre el polioliol y el TDI, esta reacción es conocida como gelificación de la espuma.

- Colorantes: se utilizan tintes solubles en poliol los cuales sirven para brindarle un color a las espumas sin que se afecte su estructura química.
- Aditivos: también se le pueden agregar bactericidas, partículas de cobre, antihongos y agentes ignífugos, esto para hacer que la esponja sea de mejor calidad.

(Ruparelia, 2015)

## **B. Cloruro de metileno**

### **1. Definición**

El cloruro de metileno o también llamado diclorometano es un líquido incoloro que posee un ligero olor a dulce. Es una sustancia la cual no ocurre en forma natural y para generarla es necesario clorar el metano, clorar el cloruro de metilo e hidrogenar el metanol (Rojas, 2009).

### **2. Aplicaciones**

#### **a. Solvente en la industria química**

Es usado comúnmente para poder de extracciones de alcaloides, grasa y otros compuestos orgánicos, esto gracias a su capacidad para disolver una gran cantidad de sustancias sin que reaccionen con ellas. Gracias a que posee una alta volatilidad, permite que el solvente se evapore de manera sencilla al momento de extraer lo que provoca que los compuestos deseados no contengan contaminantes.

El cloruro de metileno es de gran ayuda para disolver polímeros como PVC y policarbonato, lo que hace que se vuelva una herramienta de gran importancia en la manufactura y reparación de plásticos y de resinas, al poseer una baja inflamabilidad hace que su manejo sea de mayor seguridad en comparación con otros solventes orgánicos (Bos et al., 2006).

#### **b. Industria de la pintura**

Dado a la capacidad que el cloruro de metileno posee para penetrar rápidamente entre las capas de pintura, ablandándolas y haciendo que su remoción sea más fácil, es un compuesto de gran relevancia para remover las pinturas comerciales, también es usado para la restauración de muebles antiguos y en la eliminación de revestimientos industriales.

Se utiliza en la limpieza de superficies metálicas antes de aplicar una nueva capa de pintura lo que evita que la pintura nueva se contamine y que se adhiera de mejor manera y también se utiliza para eliminar los residuos de pinturas y aceites industriales (Bos et al., 2006).

**c. Aerosoles y propelentes**

El cloruro de metileno está presente en aerosoles para limpiar circuitos electrónicos, donde se necesita un solvente que se evapore sin que deje residuos que afecten el funcionamiento del equipo.

También posee aplicaciones médicas, se utiliza en ciertos inhaladores o productos desinfectantes, se utiliza como propelente, esto es debido a su estabilidad química y la capacidad que posee de evaporarse rápidamente sin que deje residuos tóxicos de alta relevancia (Bos et al., 2006).

**d. Desengrasante industrial**

Es utilizado para la limpieza y desengrasar la maquinaria industrial y componentes metálicos en condiciones donde los aceites y grasas se pueden acumular y afectar el rendimiento. La capacidad para disolver grasas y aceites y gracias a que posee una alta volatilidad, hace que el cloruro de metileno es una opción eficiente para estos procesos. Se utiliza en la industria automotriz y en la manufactura de maquinaria pesada (Bos et al., 2006).

**e. Producción de medicamentos**

El cloruro de metileno es utilizado en la industria de producción de medicamento para disolver reactivos como medio en reacción delicadas. También es utilizado para la purificación de algunos compuestos mediante una extracción selectiva lo que provoca que se asegura que los productos finales estén libres de impurezas (Bos et al., 2006).

**f. Espumas de poliuretano**

Se utiliza en la producción de espumas de poliuretano debido a que ayuda a expandir la espuma durante el proceso de manufactura. Este paso es crucial en la producción de materiales de bajo peso y alta durabilidad, se usan en colchones, muebles y también como un aislante térmico.

El cloruro de metileno posee una alta eficacia para limpiar los equipos que son utilizados durante la fabricación de esponjas de poliuretano, haciendo que eliminen los residuos que se queden en estas. Este paso es de alta relevancia para poder mantener los equipos en condiciones óptimas para su operación y también evita que el material residual afecte a la producción de siguientes lotes (Bos et al., 2006).

#### **g. Laboratorio y análisis químico**

En los laboratorios de investigación, se utiliza el cloruro de metileno para separar y purificar compuestos, en especial en química orgánica, se aprovecha su baja reactividad y su alta volatilidad para asegurar la pureza del producto final.

También es utilizado como fase móvil al momento de realizar análisis por cromatografía líquida, donde se separan los compuestos en base a su afinidad con los solventes, debido a que posee una alta volatilidad hace que su eliminación sea fácil al separarlo de los compuestos de interés (Bos et al., 2006).

### **3. Regulaciones**

El Acuerdo Gubernativo 137-2016 de Guatemala regula diversos aspectos sobre la protección y manejo del medio ambiente, incluyendo directrices específicas para la disposición de sustancias y reactivos peligrosos. Uno de los puntos clave es la gestión adecuada de residuos peligrosos, que establece que cualquier empresa, industria o proyecto que genere este tipo de residuos tiene la obligación de manejar, almacenar y eliminar estos materiales de manera que se minimicen los impactos negativos al entorno (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2016).

#### **a. Principios relevantes**

Responsabilidad ambiental: según este principio, los responsables de proyectos deben asumir la obligación de identificar los riesgos y los impactos que sus actividades pueden causar al medio ambiente, y deben presentar un plan adecuado de gestión para la correcta disposición de los residuos peligrosos. Esto incluye la implementación de medidas para evitar la contaminación y la degradación ambiental.

Principio de prevención: cualquier proyecto que maneje sustancias peligrosas debe adoptar medidas preventivas para evitar que estas sustancias lleguen al medio ambiente de forma incontrolada. El objetivo es garantizar que los reactivos peligrosos sean manejados de manera segura durante todas las fases de la operación, desde su uso hasta su eliminación (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2016).

**b. Procedimientos para la disposición de reactivos peligrosos**

Licencia de disposición final controlada: para proceder con la eliminación de productos peligrosos, obsoletos o caducados, es necesario obtener esta licencia emitida por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Esta autorización asegura que el manejo y disposición de los desechos cumpla con las normativas y procedimientos establecidos para minimizar los riesgos ambientales y de salud pública.

Medidas de control y mitigación: en el caso de proyectos que generan residuos peligrosos, deben implementarse medidas de control permanentes, como sistemas de tratamiento y almacenamiento adecuados, que impidan la liberación de sustancias tóxicas en el ambiente. Además, deben seguirse protocolos para el transporte seguro de estos residuos hasta su disposición final en instalaciones aprobadas.

Quien contamina paga: este principio obliga a los responsables de cualquier proyecto que genere daños al medio ambiente a asumir los costos de rehabilitación. En el caso de sustancias químicas o reactivos peligrosos, si se generan daños ambientales debido a una mala gestión o eliminación inadecuada, la empresa deberá cubrir los gastos asociados a la recuperación del entorno afectado. Esto incluye tanto el costo de limpieza como el restablecimiento del equilibrio ecológico de las áreas dañadas (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. 2016).

**c. Instrumentos de gestión ambiental**

El reglamento exige que las empresas que manejen reactivos peligrosos cuenten con un instrumento de gestión ambiental, el cual debe incluir medidas específicas para la prevención, mitigación, y compensación de impactos ambientales. Estos documentos son necesarios para la

aprobación de licencias y forman parte del proceso de control y seguimiento ambiental realizado por el MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2016).

#### **d. Sanciones y cumplimiento**

El acuerdo también detalla las sanciones en caso de incumplimiento. La falta de una adecuada disposición de sustancias peligrosas o la omisión de obtener las licencias correspondientes puede resultar en multas, suspensión de licencias o incluso el cierre de las operaciones. Además, se realiza un seguimiento continuo por parte de las autoridades para garantizar el cumplimiento de estas normativas (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2016).

### **C. Recuperación**

#### **1. Definición**

Recuperación es la acción de la palabra recuperar o recuperarse que quiere decir volver en sí o regresar un estado de normalidad, tener de nuevo lo que antes se tenía y por algún motivo cambió (Porto y Merino, 2022).

#### **2. Importancia de recuperar solvente**

La recuperación de solventes es un aspecto relevante en la industria, esto debido a que tiene importancia tanto desde una perspectiva económica y ambiental. En términos económicos, la reutilización de solventes es capaz de reducir la necesidad de adquirir nuevas cantidades de productos químicos, lo que permite reducir los costos de producción en las industrias. También es importante la recuperación para cubrir el punto de vista ambiental, al recuperar los solventes se mínima la generación de residuos peligrosos y minimiza la liberación de sustancias tóxicas al medio ambiente lo que contribuye una gestión más responsable de los recursos y disminuyendo el impacto ecológico. También se promueve la sostenibilidad al optimizar el uso de materiales y cumplir con normativas ambientales puestas por el estado (Anderson, 2008).

## **D. Impurezas**

### **1. Definición**

Es una sustancia extraña que se encuentra unida a un cuerpo u a otra sustancia lo cual provoca que pierda parte de su pureza y en algunos casos puede variar algunas de sus cualidades como el color, aroma o concentración (Cabellero, et al., 2011).

### **2. Tipos**

Existen diferentes tipos de impurezas, estas se encuentran clasificadas entre orgánicas, inorgánicas y disolventes residuales.

- Impurezas orgánicas: estas pueden provenir de materiales de base, también de algunos subproductos, intermedios sintéticos o de productos de degradación.
- Impurezas inorgánicas: estas impurezas se pueden derivar del proceso de fabricación del producto, regularmente se les conocen como reactivos, ligando, sales inorgánicas, ayudas de filtración, carbón, catalizadores, metales pesados, etc.
- Solventes residuales: estas impurezas son el resultado de realizar limpieza con algún disolvente.

(Shinde, 2023)

## **E. Filtración**

La filtración es un método que se utiliza para separar las partículas sólidas de un líquido mediante el uso de un material poroso conocido como filtro. El procedimiento consiste en verter la mezcla de sólido y líquido sobre el filtro, el cual deja pasar el líquido, pero retiene las partículas sólidas. Al líquido que logra atravesar el filtro se le llama filtrado. En los laboratorios, el filtro suele ser de papel poroso, aunque también pueden emplearse otros materiales que permitan el paso del líquido. Es fundamental elegir la porosidad adecuada del filtro en función del tamaño de las partículas que se desean separar. (Angurrell, 2016).

## **1. Tipos de filtro**

### **a. Filtración por gravedad**

En esta filtración, la fuerza impulsadora que realiza el trabajo para que el líquido atraviese el filtro es la gravedad, este es el método más sencillo y tradicional. Es un filtrado en el cual se separa el sólido suspendido en la sustancia y se realiza cuando lo que se desea recuperar es el líquido, esta filtración ofrece la máxima superficie de filtración lo cual da como resultado que es relativamente baja (Angurrell, 2016).

### **2. Filtración al vacío**

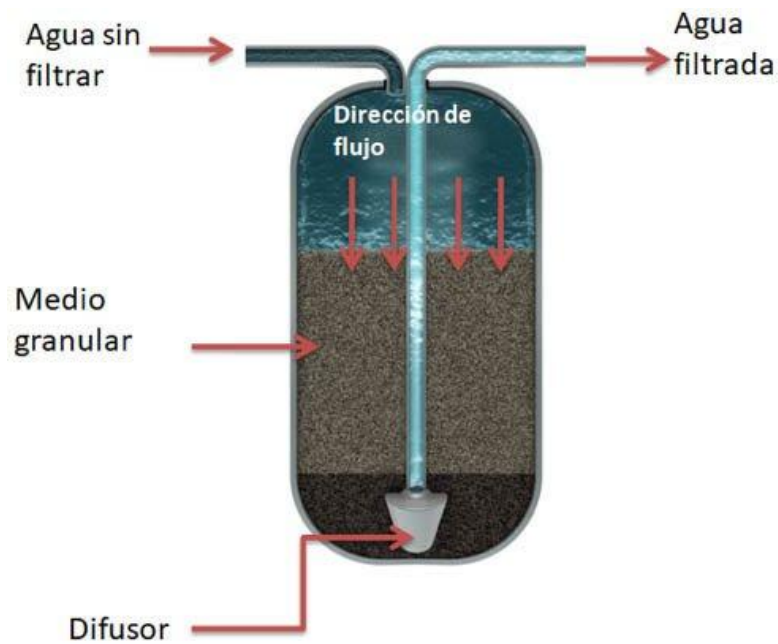
En esta filtración, la fuerza impulsadora que realiza el trabajo para que el líquido atraviese el filtro es la presión atmosférica, esto se logra cuando se aplica vacío al sistema. Dado a que se realiza por diferencia de presión, esto permite que el método de filtración al vacío sea el más rápido e incluso permite filtrar los sólidos suspendidos en los que con una filtración por gravedad no es suficiente para realizar el proceso.

El filtrado al vacío permite recuperar los sólidos suspendidos en la solución, ofrece una menor superficie de filtración lo cual sirve para recoger de manera más eficiente el sólido. El hecho de aplicar succión con ayuda de un equipo se logra que la velocidad de filtración sea rápida (Angurrell, 2016).

### **3. Filtros de lecho**

En los filtros de lecho, las partículas penetran entre el espacio del lecho filtrante en donde se quedan atrapadas. Normalmente se utilizan para la eliminación de suministros de agua y en el proceso de tratamiento de agua donde por lo general son partículas aproximadamente de 10 gramos sobre metros cúbico o menos.

Este filtro ha llegado a sustituir los filtros de arena. Están fabricados por materiales granulares con un tamaño de partícula de 0.6 a 1.2 milímetros y con una profundidad de lecho de 0.6 a 1.8 metros, las partículas de sólidos se separan de forma mecánica (Juárez Franco, 2013).

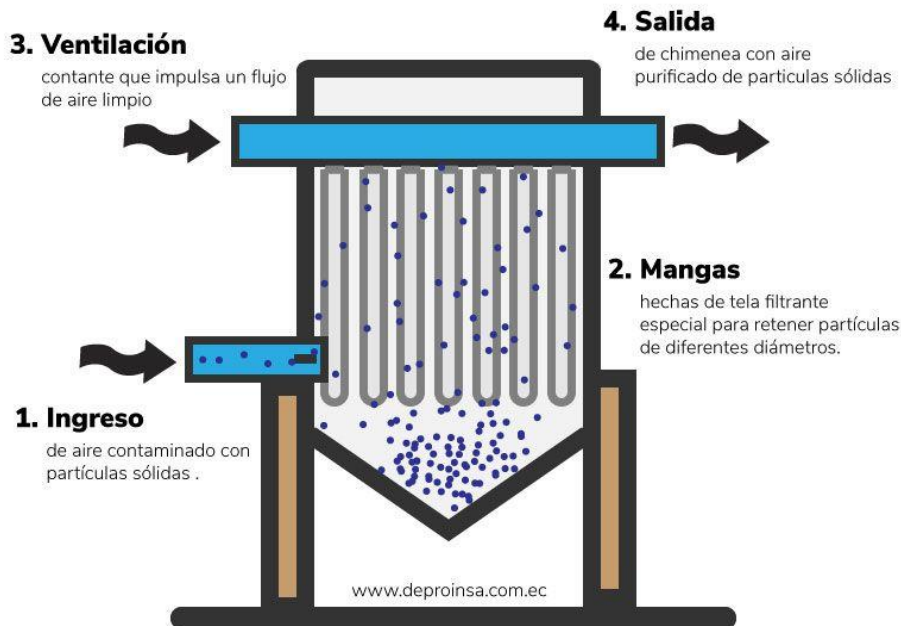


**Figura 2.** *Filtro de lecho*

(Carbotecnia, 2020)

**a. Filtros de mangas**

El filtro de mangas es altamente utilizado en la industria azucarera. Posee una cierta cantidad de mangas largas y delgadas unidas a una bandeja de alimentación horizontal, el líquido fluye por efecto de la gravedad, lo que provoca que la velocidad de filtración sea baja. Una de las ventajas es que se puede instalar una gran área de filtración. Son muy utilizados para la eliminación de partículas de polvo de gases, también pueden funcionar mediante presión o por efecto de succión (Juárez Franco, 2013).

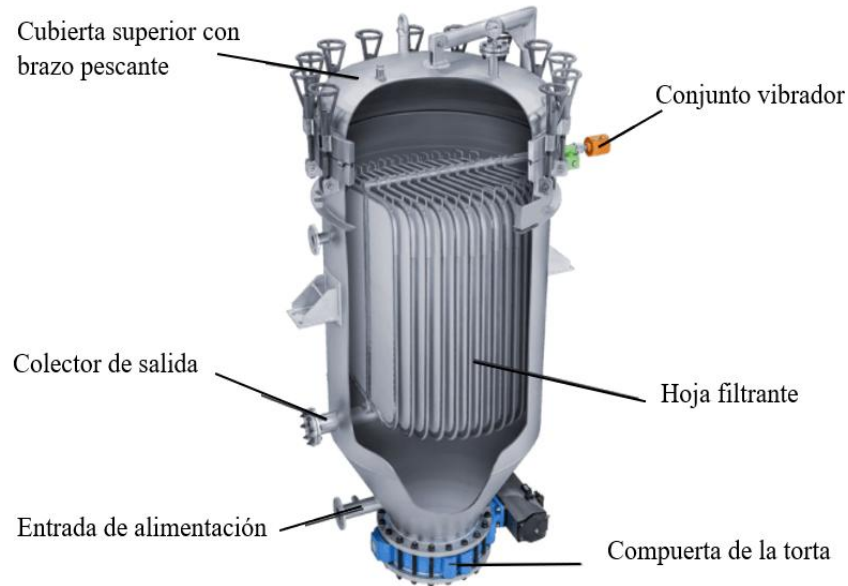


**Figura 3.** *Filtro de mangas*

(Deproins, 2021)

## b. Filtros de hojas

Estos filtros surgieron por la necesidad de desarrollar unidades de gran capacidad, fueron fabricados por Moore, Kelly y Seetland. El filtro de Moore funciona mediante vacío y ha sido desarrollado principalmente para brindar grandes áreas utilizando una construcción sencilla. En los filtros de Kelly y Sweetland, las hojas están contenidas en una carcasa para permitir que la operación se realice mediante baja presión. Las principales características de estos filtros es la uniformidad y separación de la torta, son de fácil lavado y la instalación es de tela (Juárez Franco, 2013).



**Figura 4.** *Filtro de hojas*

(Deproins, 2021)

**c. Filtro Moore**

Consisten en un cierto número de hojas que están soportadas por un marco rígido donde las tuberías de descarga de filtrado conectadas a un colector común. La batería de hojas se encuentra sumergida en un depósito de suspensión y aplica vacío por medio de un colector de descarga (Juárez Franco, 2013).

**d. Filtro Kelly**

Este filtro está constituido por una serie de hojas rectangulares verticales colocadas longitudinalmente en una carcasa horizontal de forma cilíndrica. La suspensión se bombea en el interior de la envuelta cilíndrica de tal manera que purga el aire a la atmósfera y luego se realiza la filtración hasta que se forma una torta del grueso requerido (Juárez Franco, 2013).

**e. Filtro Sweetland:**

Está constituido por hojas circulares, todas son del mismo tamaño, están colocadas sobre una carcasa horizontal, dividida en dos partes, la parte inferior donde gira sobre una bisagra para brindar un fácil acceso a las hojas. El filtrado de cada hoja para por una mirilla y luego entra a un colector común para así abandonar el filtro. Este ciclo es parecido al del filtro Kelly, exceptuando que la torta se descarga sin sacar las hojas (Juárez Franco, 2013).

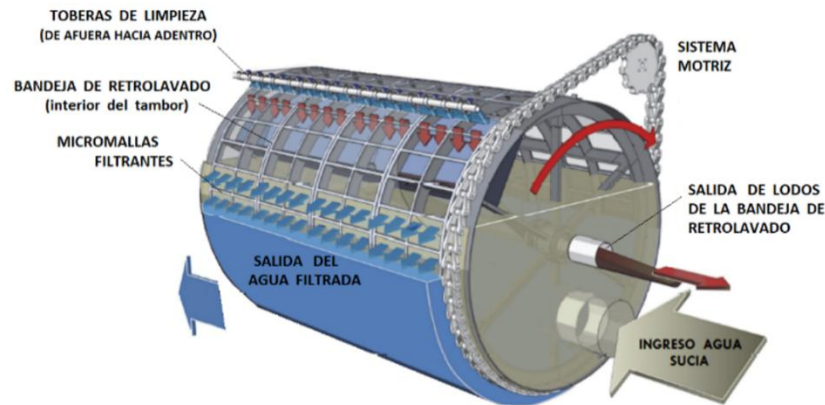
**f. Filtros rotatorios continuos**

Existen dos principales filtros rotatorios, estos son de tambor y de discos. Este filtro funciona mediante succión, donde la filtración, lavado, secado parcial y descarga de la torta poseen un lugar automáticamente. Estos filtros no requieren una mano de obra alta se puede obtener un funcionamiento económico. Son utilizados principalmente en la industria minera y también en la industria química (Juárez Franco, 2013).

**g. Filtro de tambor rotatorio**

Este filtro consiste en un cilindro dispuesto de manera horizontal, con la superficie exterior formada por una plancha perforada o con elementos de drenaje especiales sobre los que se fija una tela filtrante. En algunas ocasiones la tela está separada del tambor por una tela metálica gruesa, de esta manera poder maximizar el área.

El cilindro está dividido por un cierto número de sectores donde existe una conexión por separado entre cada sector y una válvula rotatoria especial. El tambor se encuentra sumergido en una suspensión que posee una constante agitación para evitar la decantación de los sólidos, aplicando vacío a aquellos sectores del tambor que están sumergidos (Juárez Franco, 2013).

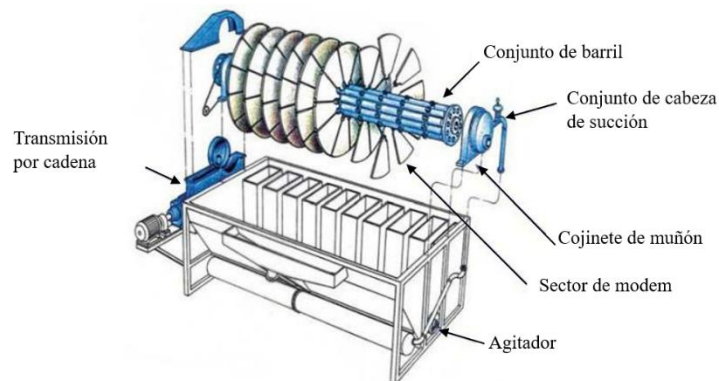


**Figura 5.** *Filtro de tambor rotatorio*

(*Filtro de Tambor Rotatorio - Biolight, 2022*)

#### **h. Filtro rotatorio de discos**

Este filtro posee cierto número de hojas filtrantes circulares montadas sobre un pesado eje tubular y está separado por medio de cubos de rueda. Cada uno de los sectores del disco está conectado a una salida separada lo que permite la formación de un canal continuo por las salidas de los correspondientes sectores de las otras hojas cuando el conjunto de los discos está instalado. Estos canales se encuentran conectados a una válvula rotatoria similar a la del filtro de tambor (Juárez Franco, 2013).



**Figura 6.** *Filtro de rotatorio de discos*

(Micronics, 2022)

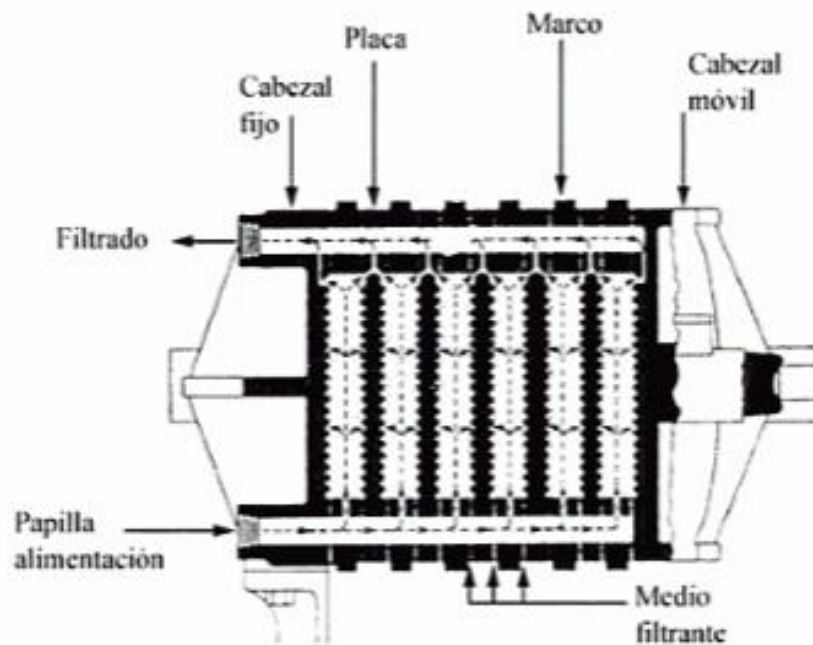
**i. Filtro prensa**

Este tipo de filtro fue de los más utilizados en los primeros años de la industria química. Los dos tipos de filtros prensa más utilizados son los de diseño de placa de lavado o placas y marcos, y el filtro prensa de placas huecas (Juárez Franco, 2013).

**j. Filtro de prensa de placas y marcos**

Este filtro consiste en un montaje alternado de placas cubiertas en ambos lados con un medio filtrante que en la mayoría de caso suele ser de tela y marcos huecos que brindan el espacio necesario para la acumulación de la torta durante la filtración.

En los marcos existen agujeros donde se realiza la alimentación y lavado, en tanto que las placas tienen agujeros para el drenado del filtrado. Los marcos y placas se encuentran colgadas en un par de barras de apoyo horizontales y se presan durante la filtración. Para evitar que el agua entre a las dos placas terminales una de estas es estacionarias (Juárez Franco, 2013).



**Figura 7.** Filtro de prensa de placas y marcos.

(Juárez Franco, 2013)

## **k. Filtro prensa de placas huecas**

El filtro de prensa de placas huecas es parecido al de placas y marcos con la diferencia que solo consta de placas. Las dos caras de cada placa son huecas y de esta manera se forma una cámara en la que se acumula la torta entre las placas adyacentes. Este diseño tiene la ventaja de utilizar aproximadamente la mitad de las uniones de un filtro de placas y marcos, lo que hace que el cierre a presión sea más seguro.

Las ventajas del filtro prensa son por su sencillez, el bajo costo de capital, la flexibilidad y la capacidad para operar a alta presión en las aplicaciones como filtro de torta o filtro de clarificación. Los requerimientos de área de piso y altura por unidad de área de filtro son pequeños y la capacidad se puede ajustar mediante la adición o eliminación de las placas y marcos. Los filtros prensa se limpian fácilmente y el medio filtrante, se puede reemplazar con facilidad. Con una operación adecuada se obtiene una torta más seca y densa, en comparación con la que se obtiene con la mayor parte de los otros filtros (Juárez Franco, 2013).

## **F. Evaporación**

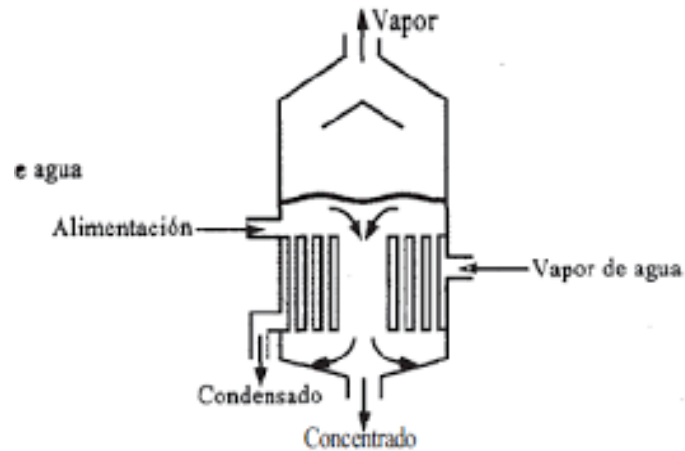
La evaporación consiste en la separación de una solución constituida por un soluto no volátil y un solvente volátil se separan siendo uno de éstos el producto deseado. Para que se logre la separación, se transfiere calor a la solución hasta que alcance su temperatura de ebullición, así el solvente se volatiliza y el soluto permanece en la solución aumentando su concentración. Al aumentar la temperatura, el solvente volátil cambia de estado líquido a gaseoso, de esta manera sube a través de una columna donde luego pasa a un condensador para que vuelva a su estado líquido y así se recolecta solo el solvente (Morales Chávez, 2012).

### **1. Tipos de evaporadores**

#### **a. Evaporadores de circulación natural**

Los evaporadores de circulación natural fueron los primeros evaporadores en desarrollarse y son los más utilizados en la industria. El principio del funcionamiento de este tipo de evaporador es el aprovechamiento de la densidad entre el líquido y el vapor que se genera mientras se está efectuando el proceso, de esta manera se logra una mayor transferencia de calor. Los tubos de

transferencia de calor pueden estar colocados de manera vertical u horizontal (Morales Chávez, 2012).



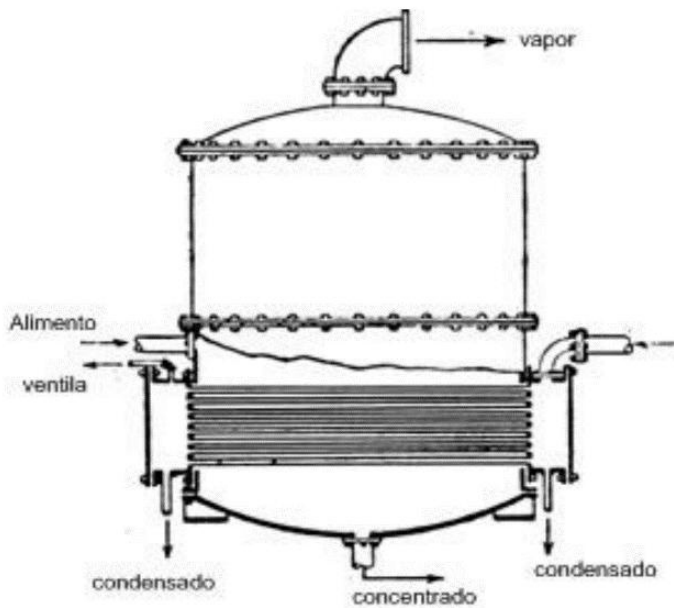
**Figura 8.** *Evaporador de circulación natural*

(Morales Chávez, 2012)

#### **b. Evaporador de tubos horizontales**

Este es un evaporador que cuenta con un banco horizontal de tubos. El vapor de agua entra y se condensa dentro de los tubos. La solución que se requiere concentrar se encuentra localizada fuera de los tubos y se mantiene en el punto de ebullición.

Funciona de la misma forma que un intercambiador de concha y tubos. Esta clase de evaporadores es utilizada cuando se trabaja con líquidos poco viscosos y con un alto coeficiente de transferencia de calor (Morales Chávez, 2012).



**Figura 9.** *Evaporador de tubos horizontales*

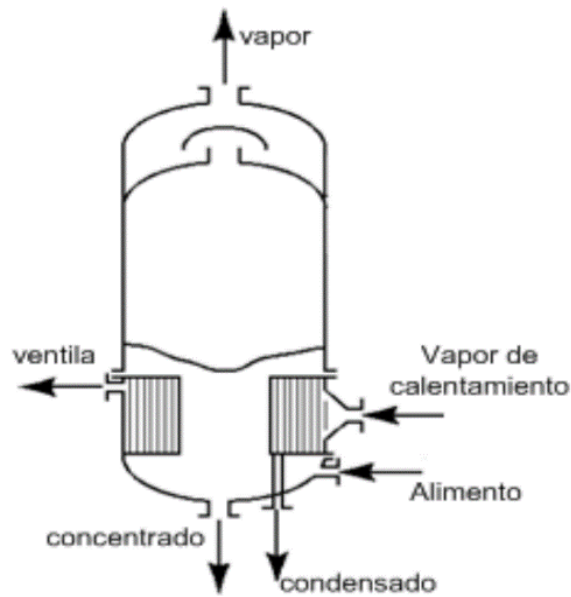
(Morales Chávez, 2012)

Una de las ventajas de este tipo de evaporadores es que ocupan poco espacio superior, también poseen la cualidad que son sencillos de construir y son de bajo costo, aunque poseen la desventaja es que su costo de operación, por lo general, tiende a elevarse (Morales Chávez, 2012).

### **c. Evaporadores de tubos verticales**

También es llamado evaporador de calandria, este es un evaporador que cuenta con un banco de tubos verticales que se encuentran entre dos espejos remachados en bridas al cuerpo del evaporador. Un rebosadero está ubicado en el centro de los espejos que posee un diámetro aproximadamente la mitad de la suma de los diámetros de todos los tubos.

Se diferencia con el evaporador de tubos horizontales en que el vapor se hace pasar en el exterior de los tubos y la solución a concentrar en el interior de los mismos, es el tipo de evaporador que se utiliza en la industria azucarera (Morales Chávez, 2012).



**Figura 10.** *Evaporador de tubos verticales*

(Morales Chávez, 2012)

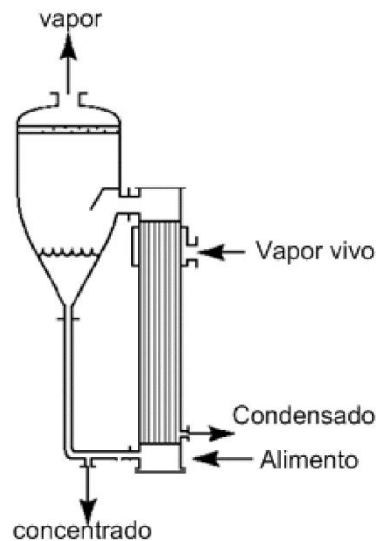
La circulación se produce por la disminución de la densidad del líquido en ebullición, por lo que éste se eleva a través de los tubos por circulación natural y fluye hacia abajo por el espacio central del evaporador. La circulación natural de la solución concentrada incrementa el coeficiente de transferencia de calor.

Una desventaja que posee este evaporador es que se necesita colocar deflectores en el espacio de vapor para que se distribuya de mejor manera en los tubos. La circulación y la transferencia de calor en este tipo de evaporador son fuertemente afectadas por el nivel del líquido (Morales Chávez, 2012).

#### **d. Evaporador vertical de tubos largos**

Este es un evaporador está compuesto por un intercambiador de concha y tubos de paso simple que está orientado verticalmente, también posee un separador en donde el vapor se desprende del líquido concentrado. La mezcla entra por la parte inferior y asciende a través del intercambiador, mientras el líquido recibe calor por parte de la condensación del vapor del lado de la coraza, de esta manera comienza la ebullición y forma burbujas en su seno, el cual tiene como resultado aumentar la velocidad lineal y la velocidad de transmisión de calor. En la parte superior del banco de tubos, crecen rápidamente las burbujas y con gran velocidad salen.

Por lo general, este tipo de evaporadores se utiliza cuando la capacidad calorífica del fluido que se quiere evaporar es muy baja comparada con la energía que puede proporcionar el vapor de calentamiento, en este evaporador se pretende que la solución concentrada pase un corto período de tiempo a través del banco de tubos. La longitud de los tubos ayuda a obtener velocidades elevadas del líquido, lo que hace que el coeficiente aumente (Morales Chávez, 2012).



**Figura 11.** *Evaporador vertical de tubos largos*

(Morales Chávez, 2012)

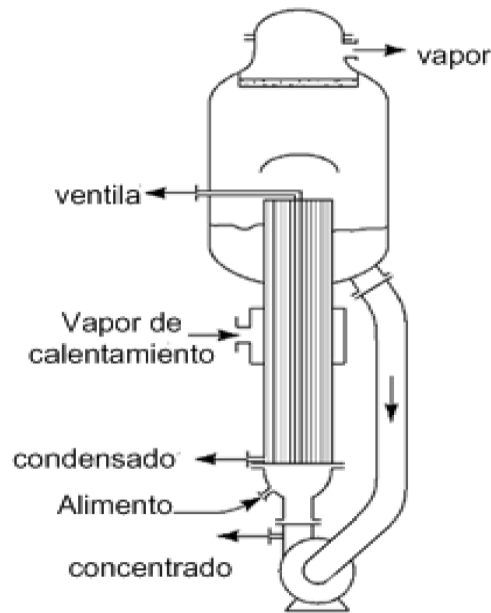
El evaporador vertical de tubos largos es especialmente efectivo para concentrar líquidos que tienden a formar espuma, dado que esta se rompe cuando la mezcla de líquido y vapor de alta velocidad choca contra las paredes deflectoras de la carga de vapor (Morales Chávez, 2012).

#### **e. Evaporadores de circulación forzada**

El funcionamiento de este evaporador es mediante un intercambiador de calor que regularmente es de tipo concha y tubos, un separador o cuerpo del evaporador y una bomba para hacer circular el líquido a través del calentador. El sistema funciona de tal manera que la

ebullición no se lleva a cabo en el intercambiador, lo que quiere decir que el líquido solamente absorbe calor sensible.

La evaporación se produce hasta que la solución entra al separador. Para que se mantenga el aumento de temperatura hasta cierto límite razonable, es necesario recircular grandes cantidades de líquido en relación con la cantidad evaporada (Morales Chávez, 2012).



**Figura 12.** *Evaporador de circulación forzada*

(Morales Chávez, 2012)

La gran mayoría de intercambiadores de calor usados en los evaporadores de circulación forzada suelen ser de tipo concha y tubos, por lo general, es de un solo paso dispuesto verticalmente o de pasos múltiple dispuesto horizontalmente. Este intercambiador de calor está ubicado a una distancia necesaria por debajo del nivel del líquido en el cuerpo del evaporador para que la carga hidrostática impida que se dé la ebullición en los tubos.

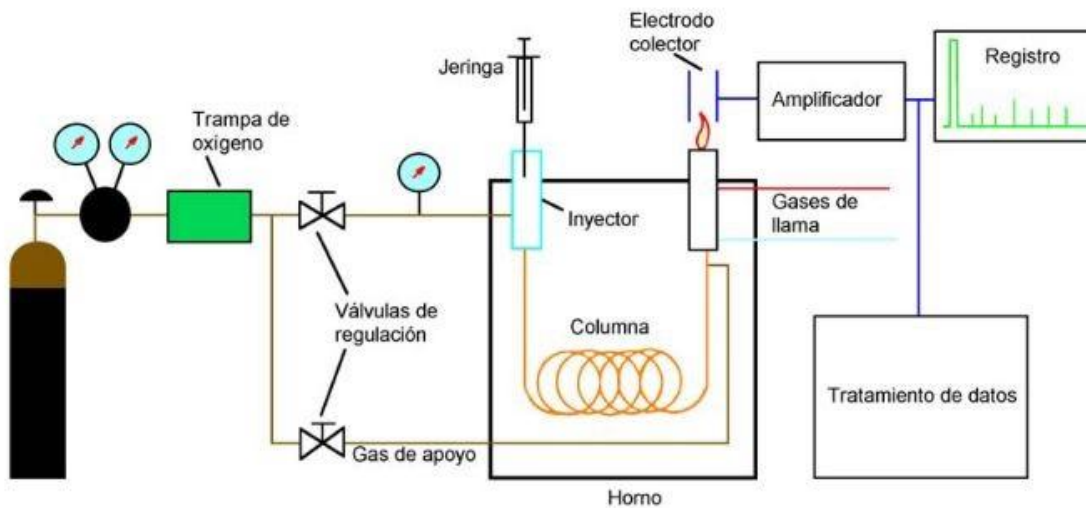
De las configuraciones más comunes en esta clase de evaporadores es que algunos tienen un intercambiador de calor externo vertical de un solo paso y poseen una entrada tangencial al cuerpo. El evaporador de circulación forzada es utilizado cuando la solución concentrada es de alta

viscosidad por lo que el coeficiente global de transferencia de calor es bajo. Una de sus desventajas es que no son los más económicos para muchos usos (Morales Chávez, 2012).

## G. Cromatografía de gases

La cromatografía de gases es el método más utilizado para determinar la pureza de gases, permite analizar la concentración de los componentes del gas natural y cuantificar la cantidad del odorante, aunque también es posible utilizarla con otros propósitos y en diversos sectores.

Para utilizar la cromatografía de gases se necesita una muestra compleja que debe ser introducida en el cromatógrafo con una jeringa o desde un muestreador automático. La salida de la columna se debe insertar con el detector y la señal que queda registrada por el software del cromatograma, luego de que los componentes se han introducido estos se vaporizan para luego llegar a la columna analítica, se separan en función de sus interacciones con la fase estacionaria. Este proceso termina detectando las moléculas que hayan salido de la columna (Morales Chávez, 2012).



**Figura 13.** Esquema de cromatografía de gases

(Cromatografía de Gases / Unidad de Informática Del Instituto de Química., 2016)

## **1. Principios de la cromatografía de gases**

En la cromatografía de gases, la fase móvil no interactúa con las moléculas del analito, esto dado a que su único propósito consiste en transportarlas a lo largo de la columna. Además, posee la ventaja de trabajar con detectores mucho más universales y ofrece una metodología más rápida, simple y sensible. Estos aspectos hacen que sea un sistema de análisis accesible dado a que la instrumentación que requiere es menos costosa en términos económicos. Sin embargo, la cromatografía de gases posee algunas limitaciones como escasa volatilidad del compuesto, normalmente en casos donde el peso molecular del compuesto supera los 300 uma, sensibilidad de algunos compuestos de interés biológico a cualquier aumento térmico, compuestos que están en forma iónica (Comunicación Grupo Esneca, 2022).

## **2. Tipos de columna cromatográfica**

En los materiales necesarios para realizar un análisis cromatográfico, la columna es la más importante, es un dispositivo cilíndrico fabricado a base de acero inoxidable, cobre o vidrio y es donde se lleva a cabo la separación de los componentes, los diferentes tipos de columnas que hay son:

- Para gases. su recubierta interno es de sílice fundida, caracteriza por un escaso contenido de óxido metálico. La fase estacionaria está polimerizada, lo que conduce a un elevado nivel de estabilidad. Es útil para cualquier mezcla o compuesto químico que sea volátil antes de alcanzar los 300 grados.
- Para líquidos. en su fase estacionaria, trabaja con polímeros, normalmente, situados en dieciocho carbonos. Durante el proceso de separación, la muestra se mantiene en estado líquido.
- De relleno o empaquetada. se encuentra fabricada con tubos de vidrio, metal o teflón. Su longitud se suele situar entre uno y tres metros, con un diámetro interno de dos a cuatro milímetros. El relleno se efectúa con un material sólido y compacto. Así se facilita la retención y ubicación de la fase estacionaria, para maximizar la extensión de contacto con la fase móvil.

- Tubular o capilar. se trata de una concatenación de tubos dotados de una larga longitud y un diminuto diámetro. El proceso de fijación de la fase estacionaria se lleva a cabo en la superficie del interior. Para facilitar el proceso, se deben enrollar los tubos en sentido helicoidal, siempre dentro del horno termostatzado (Comunicación Grupo Esneca, 2022).

## V. Metodología

### Filtración de cloruro de metileno

**Cuadro 1.** *Cloruro de metileno utilizado para limpiar el equipo de elaboración de esponjas*

Reactivo	Cantidad (g)
Cloruro de metileno (CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> )	2000

- Este cloruro de metileno se encuentra contaminado debido a que ya fue utilizado para limpiar el equipo utilizado en la elaboración de esponjas, es de grado industrial con una concentración de 0.7355.

**Cuadro 2.** *Equipo utilizado para la realización de la filtración al vacío del cloruro de metileno contaminado*

Equipo	Cantidad	Marca
Papel filtro	1 pliego	N/A
Embudo para filtración al vacío	1	N/A
Manguera para filtro al vacío	1	N/A
Bomba para filtro al vacío	1	Square D Company
Balanza analítica	1	Ohaus
Tijeras	1	Maped
Lápiz	1	Mongol
Ajustador de nivel	1	N/A

**Cuadro 3.** *Cristalería utilizada para la realización de la filtración al vacío del cloruro de metileno contaminado*

Cristalería	Capacidad	Cantidad	Marca
Matraz Kitasato	1000 mL	1	Pyrex
Beaker	500 mL	1	Pyrex
Beaker	1000 mL	1	Pyrex

## Procedimiento

1. Con un lápiz, realizar un círculo sobre el papel filtro tomando el embudo para filtración al vacío como molde.
2. Recortar el círculo hecho con ayuda de una tijera siguiendo la línea lo mejor posible para asegurar que el papel filtro quepa en el embudo.
3. Meter el círculo recortado en el embudo de filtración al vacío asegurando que no queden espacios vacíos.
4. Conectar un extremo de la manguera al Erlenmeyer para filtración al vacío.
5. Conectar el otro extremo de la manguera a la válvula donde hay vacío.
6. Colocar el embudo con el papel filtro sobre el Erlenmeyer para filtración al vacío.
7. Asegurar que no hay entrada de aire entre el acople y el Erlenmeyer.
8. Tarar una balanza con un beaker de  $5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$  (500 mL)
9. En ese beaker, pesar 0.450 Kg de cloruro de metileno contaminado.
10. Anotar la masa obtenida.
11. Abrir la válvula de vacío.
12. Verter lentamente el beaker con el cloruro de metileno contaminado sobre el embudo de filtración al vacío.
13. Esperar a que todo el líquido pase por el embudo.
14. Cerrar la válvula de vacío.
15. Retirar el embudo de filtración al vacío del Erlenmeyer.
16. Tarar una balanza con un beaker de beaker  $5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$  (500 mL)
17. En ese beaker, verter el cloruro de metileno filtrado.
18. Pesar con la balanza tarada el beaker que contiene el cloruro de metileno.
19. Anotar la masa obtenida.

## Evaporación

**Cuadro 4.** *Cristalería utilizada para la evaporación del cloruro de metileno contaminado*

Cristalería	Capacidad	Cantidad	Marca
Beaker	500 mL	1	Pyrex
Beaker	100 mL	1	Pyrex
Kit de destilación con columna Vigreux	N/A	1	Pyrex
Termómetro	N/A	1	Eisco

**Cuadro 5.** *Equipo utilizado para la elaboración del cloruro de metileno contaminado*

Equipo	Cantidad	Marca
Manguera	2	N/A
Pinza de tres dedos	3	N/A
Soporte metálico	2	N/A
Malla calefactora	1	Electrothermal
Soporte ajustador de altura	1	N/A
Clip de seguridad	3	Pyrex

### Procedimiento

1. Conectar la malla calefactora al enchufe.
2. Armar equipo de destilación con columna Vigreux.
3. Tarar una balanza con un beaker de  $5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$  (500 mL)
4. En ese beaker, pesar 0.180 Kg de cloruro de metileno contaminado ya filtrado.
5. Anotar la masa obtenida.
6. Verter los 0.180 Kg de cloruro de metileno contaminado ya filtrado en el balón que se coloca en la malla calefactora.
7. Colocar el balón en la malla calefactora
8. Conectar el balón al sistema de evaporación.
9. Colocar el clip de seguridad del sistema de evaporación.

10. Encender la manta calefactora en el nivel 5.
11. Controlar que la temperatura del termómetro no supere los 40 °C.
12. Apagar la malla calefactora cuando la temperatura del balón sea de 60°C.
13. Tarar una balanza con un beaker de  $2.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$  (250 mL).
14. Verter el evaporado sobre ese beaker.
15. Pesar el evaporado con la balanza tarada
16. Apuntar la masa determinada por la balanza.
17. Guardar el evaporado en frascos de cristal correctamente etiquetados.
18. Pesar el balón que contiene el no evaporado.
19. Limpiar balón con lo no evaporado colocando el residuo en un recipiente de cristal correctamente etiquetado.
20. Lavar el balón que contenía el no evaporado.
21. Secar el balón que contenía el no evaporado.
22. Pesar el balón que contenía el no evaporado.
23. Apuntar la masa determinada.
24. Restar la masa del balón pesado con lo no evaporado con menos el balón limpio.
25. Anotar la masa determinada para conocer cuanto no se evaporó.

### **Análisis de cromatografía de gases**

**Cuadro 6.** *Cristalería utilizada para el análisis por cromatografía de gases del cloruro de metileno evaporado*

Cristalería	Capacidad	Cantidad	Marca
Tubos de ensayo con tapa	20 ml	5	N/A

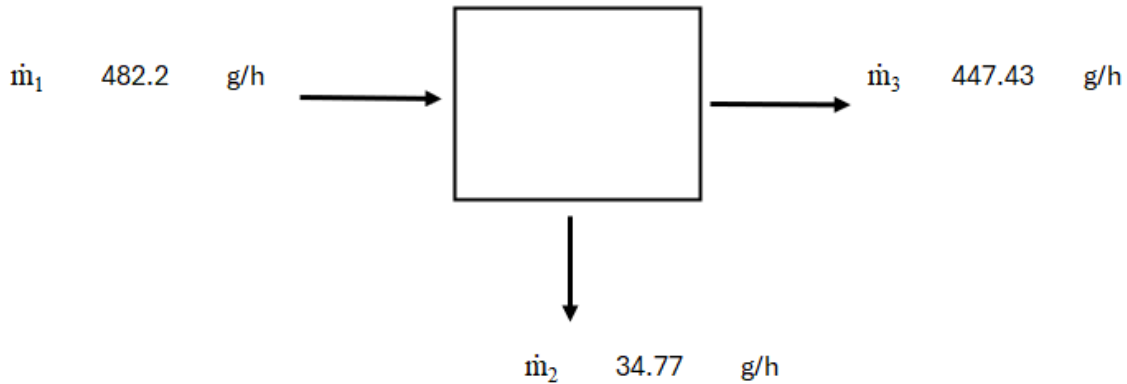
## **Procedimiento**

1. Colocar la muestra de cloruro de metileno evaporado en el muestrario.
2. En la computadora, colocar el nombre de la muestra e identificarla con un código.
3. Abrir válvula de gas portador
4. Esperar a que el cromatógrafo se estabilice
5. Establecer temperatura del inyector
6. Esperar a que se realicen los análisis
7. Dar click en la computadora donde dice correr muestra
8. Comparar los resultados para corroborar la evaporación.

## VI. Resultados

### A. Resultados de filtración al vacío

Figura 14. Balance de masa del proceso de filtración al vacío



- Los flujos que se observan en la caja negra son las medias de las cuatro corridas realizadas. Los datos de  $\dot{m}_1$ ,  $\dot{m}_3$  viene del cuadro 25 y la  $\dot{m}_2$ , viene del cuadro 24.

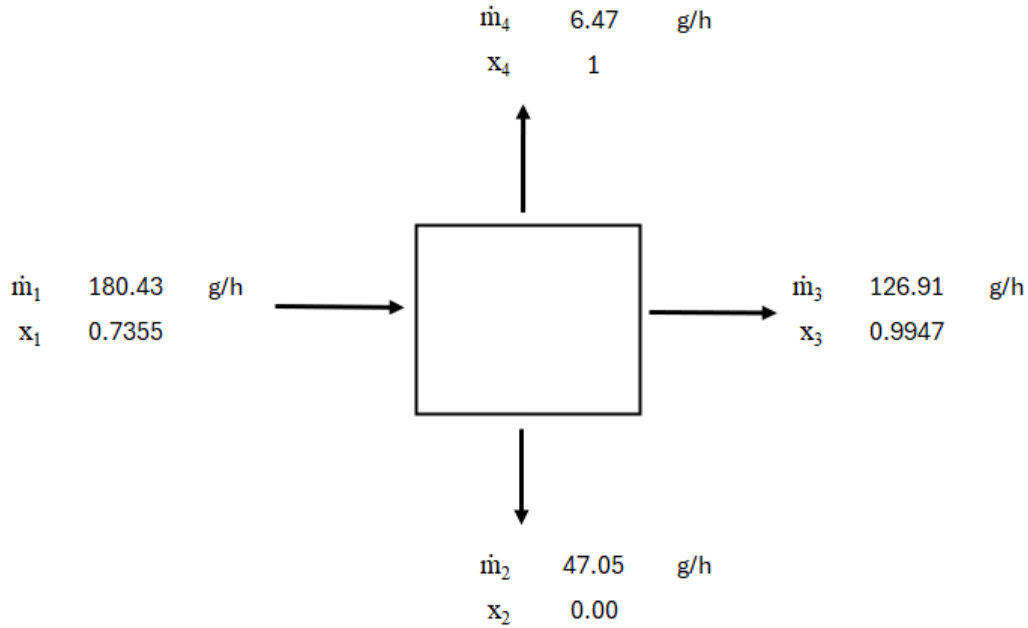
Cuadro 7. Rendimiento del proceso de filtración al vacío

Corrida	Rendimiento (% m/m)
1	92.51 ± 0.03
2	91.05 ± 0.03
3	94.75 ± 0.03
4	92.78 ± 0.03
Media	92.77
Desviación estándar	1.52

- Se observa el rendimiento que se obtuvo para cada una de las corridas durante el proceso de evaporación al vacío, también se encuentra la media de las corridas con su respectiva desviación estándar, donde se realizó con un vacío de 4.3 psia.

## B. Resultados de evaporación

**Figura 15.** Balance de masa del proceso de evaporación



- La  $\dot{m}_1$  viene el cuadro 28, la  $x_1$  viene del cuadro 27, la  $\dot{m}_2$  viene del cuadro 28, la  $x_2$  se asume, la  $\dot{m}_3$  viene del cuadro 29, la  $x_3$  viene del cuadro 15, la  $\dot{m}_4$  viene del cuadro 26 y la  $x_4$  se asumen.

**Cuadro 8.** Rendimiento del proceso de evaporación

Corrida	Rendimiento (% m/m)
1	94.27 ± 0.03
2	96.60 ± 0.03
3	96.70 ± 0.03
4	96.81 ± 0.03
Media	96.10
Desviación estándar	1.22

- Se observa el rendimiento que se obtuvo para el proceso de evaporación en cada una de las corridas realizadas, también se encuentra la media de las corridas con su desviación estándar.

### C. Resultados de análisis de cromatografía de gases

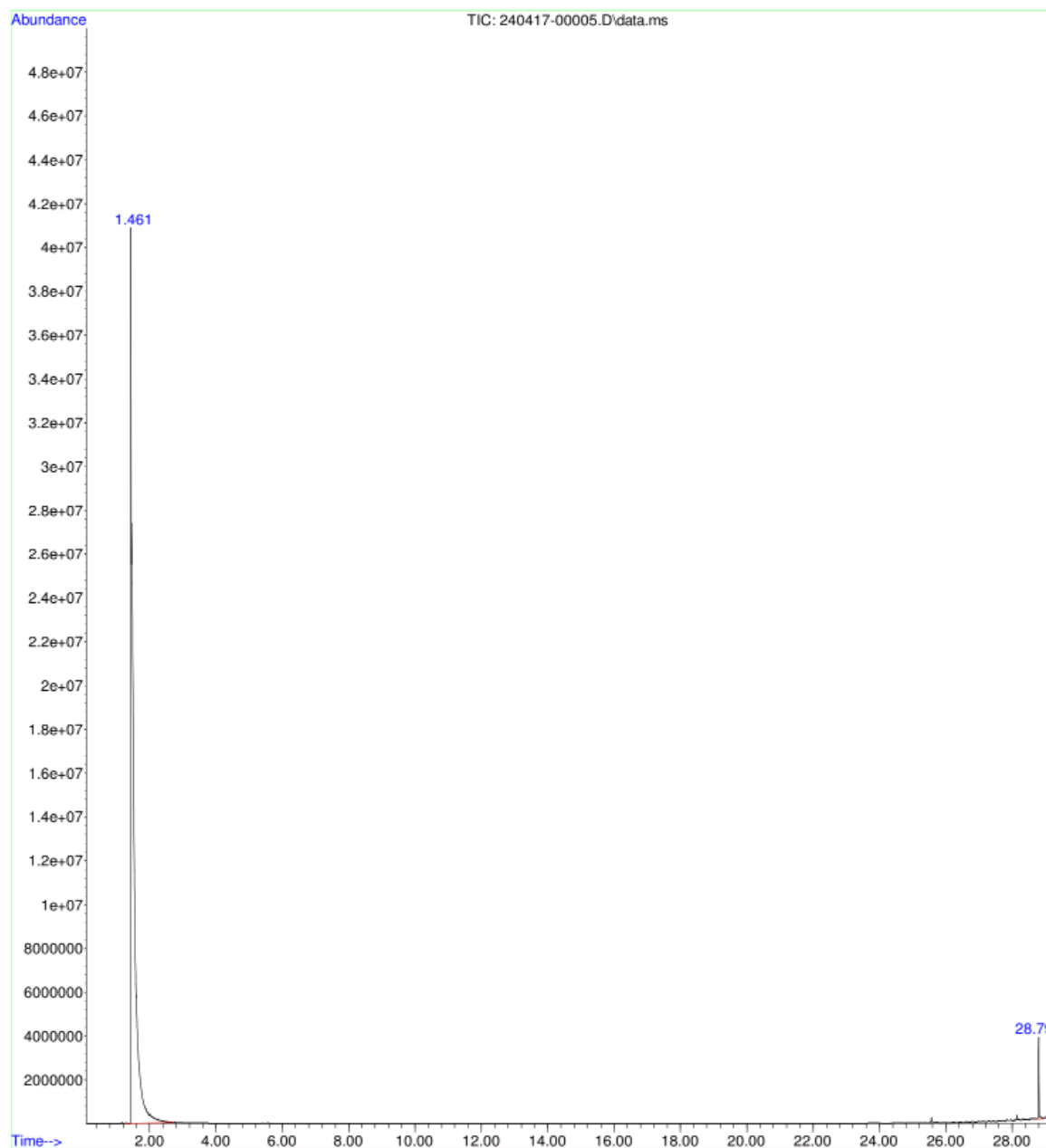
**Cuadro 9.** *Análisis de cromatografía de gases del cloruro de metileno sin usar*

Análisis	% Área	Compuesto
1	97.64	Cloruro de metileno
2	2.36	ftalato de bis(2-etilhexilo)
		Ácido bencenodicarboxílico
		Ácido ftálico

- El análisis fue realizado con un cromatógrafo de gases de la marca Agilent Technologies serie 6850 en universidad del Valle de Guatemala. Estos resultados son del cloruro de metileno sin si utilizar, es decir, un cloruro de metileno de grado industrial que aún no se ha utilizado para limpiar el equipo de elaboración de esponjas.

**Figura 16.** Cromatograma del cloruro de metileno de grado industrial sin usar

File :C:\msdchem\1\DATA\Ing Quimica\2024\240417-00005.D  
Operator : AdeM  
Acquired : 17 Apr 2024 14:40 using AcqMethod CLORURO METILENO HP5.M  
Instrument : GC-MSD  
Sample Name: TDG24109-3  
Misc Info : IQ  
Vial Number: 1



- El análisis fue realizado con un cromatógrafo de gases de la marca Agilent Technologies serie 6850 en universidad del Valle de Guatemala. Estos resultados son del cloruro de metileno sin si utilizar, es decir, un cloruro de metileno de grado industrial que aún no se ha utilizado para limpiar el equipo de elaboración de esponjas.

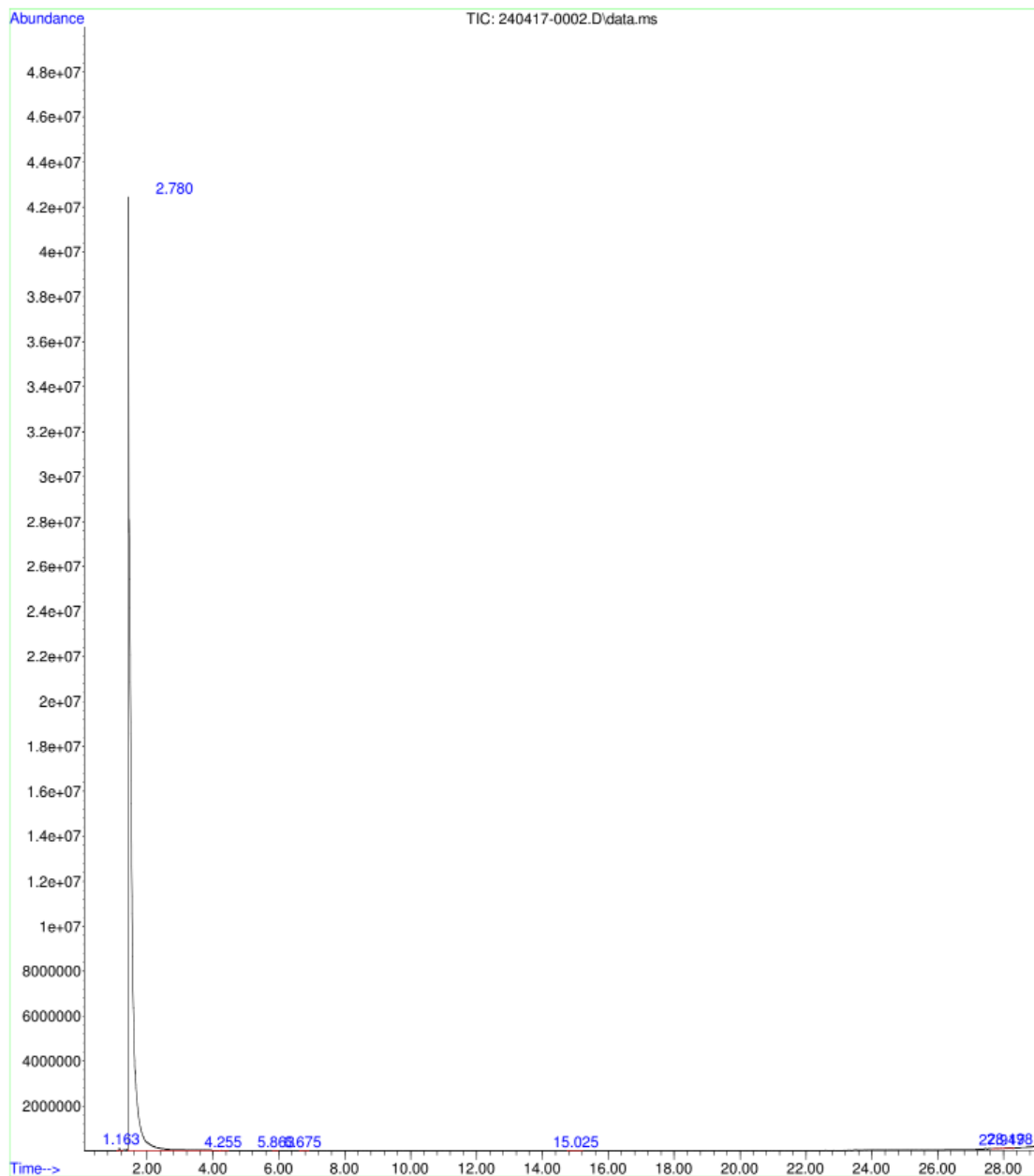
**Cuadro 10.** *Análisis de cromatografía de gases del cloruro de metileno purificado*

Análisis	% Área	Compuesto
1	0.09	Amoníaco
		Agua
2	99.42	Cloruro de metileno
3	0.05	
4	0.05	Piperazina
		Benzaldehído
		1, 2, 5- Oxadiazol-3carboxamide
5	0.06	Piperazina
		Piperazina
		Aminobutiramida
6	0.06	Benzaldehído
		Óxido nitroso
		Óxido nitroso
7	0.13	Acetamida
		Tetraxilosano
		Silano
8	0.14	Silano
		Trimetil (4-tert. -butylphenoxy) silano
		Trimetil (4-tert. -butylphenoxy) silano

- El análisis fue realizado con un cromatógrafo de gases de la marca Agilent Technologies serie 6850 en universidad del Valle de Guatemala. Estos resultados son del cloruro de metileno recuperado, es decir, el cloruro de metileno que pasó por el proceso de filtración al vacío y de evaporación.

**Figura 17.** *Cromatograma del cloruro de metileno recuperado*

File :C:\msdchem\1\DATA\Ing Quimica\2024\240417-0002.D  
Operator : AdeM  
Acquired : 17 Apr 2024 11:04 using AcqMethod CLORURO METILENO HP5.M  
Instrument : GC-MSD  
Sample Name: TDG24110  
Misc Info : IQ  
Vial Number: 2



- El análisis fue realizado con un cromatógrafo de gases de la marca Agilent Technologies serie 6850 en universidad del Valle de Guatemala. Estos resultados son del cloruro de metileno recuperado, es decir, el cloruro de metileno que pasó por el proceso de filtración al vacío y de evaporación.

**D. Propuesta de normativa**

Norma: Método para recuperar el cloruro de metileno utilizado como agente limpiador del equipo de elaboración de esponjas de poliuretano

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería  
Química

**Método para recuperar el cloruro de metileno utilizado como agente  
limpiador del equipo de elaboración de esponjas de poliuretano**

Desarrollado por Douglas Rennato Jui Mazariegos

Guatemala 2024

## **Alcance**

- Se busca realizar una recuperación de cloruro de metileno utilizado como agente limpiador del equipo de elaboración de esponjas a escala laboratorio donde se controle la presión de succión de una filtración al vacío y la temperatura en un proceso de evaporación.
- Determinar el rendimiento de los procesos de filtración al vacío y de evaporación realizada con un kit de destilación utilizando una columna Vigreux.
- Evaluar si las operaciones unitarias planteadas para la recuperación del cloruro de metileno utilizado como agente limpiador del equipo de elaboración de esponjas son efectivas.

## **Resumen del método**

- Obtener las muestras de cloruro de metileno utilizado como agente limpiador en el equipo de elaboración de esponjas de poliuretano.
- Realizar una filtración al vacío utilizando papel filtro como medio filtrante con una presión de -4.3 psia al cloruro de metileno contaminado.
- Evaporar el producto de la filtración al vacío verificando que la temperatura de la evaporación no sea mayor a 40 °C.
- Determinar la concentración del cloruro de metileno del evaporado y de una muestra de cloruro de metileno de grado industrial sin usar en un cromatógrafo de gases.
- Calcular el rendimiento del proceso de la filtración al vacío y del proceso evaporación.

## **Significado y uso**

- La recuperación del cloruro de metileno utilizado como agente limpiador del equipo de elaboración esponjas es un procedimiento que afectaría de manera positiva a la industria debido a que los costos de producción se reducirían de manera significativa.
- Una recuperación del cloruro de metileno utilizado como agente limpiador del equipo de elaboración de esponjas pretende formar parte de una economía circular dentro de la

industria no solamente al no tener que comprar cloruro de metileno nuevo si no también al evitar contratar una empresa externa para que se encargue de su eliminación.

- Este procedimiento se ha desarrollado para evaluar si las operaciones unitarias como la filtración al vacío y la evaporación son viables para recuperar el cloruro de metileno utilizado como agente limpiador en el equipo de elaboración de esponjas.
- **Limitaciones:** Dado a que no es posible determinar la concentración del cloruro de metileno antes del proceso de evaporación con ayuda de un cromatógrafo de gases u algún otro equipo, se realiza un balance donde al solucionarlo se obtiene una concentración inicial de cloruro de metileno teórico.
- El procedimiento está destinado para realizarse a escala laboratorio el cual permite una evaluación rápida y que está diseñado para obtener los parámetros de un escalamiento a nivel industrial.

### Aparatos

- **Sistema de filtración al vacío**
  1. Un pliego de papel filtro.
  2. Matraz Kitasato de 1000 mL con su respectivo embudo.
  3. Mangueras para aplicar el vacío al matraz Kitasato.
  4. Bomba para realizar el vacío.
  5. Balanza analítica.
  6. Tijeras y lápiz.
  7. Dos beakers, uno 500 mL y otro de 1000 mL.
- **Sistema de evaporación**
  1. Dos beakers, uno de 500 mL y el otro de 1000 mL.
  2. Kit de destilación con columna Vigreux.
  3. Un termómetro de alcohol de -10 °C a 150 °C.
  4. Dos mangueras para suministrar agua al intercambiador de calor.
  5. Tres pinzas de tres dedos.

6. Dos soportes metálicos
7. Una malla calefactora.
8. Un soporte ajustador de altura.
9. Tres clips de seguridad.

- **Análisis de cromatografía de gases**

1. Cinco tubos de ensayo para guardas las muestras del evaporado.
2. Un cromatógrafo de gases.

**Materiales de prueba**

- 2000 gramos de cloruro de metileno utilizado como agente limpiador del equipo de elaboración de esponjas.

**Peligros**

- La exposición prolongada al cloruro de metileno provoca cáncer por lo que su manejo debe realizarse adecuada.
- Debido a la alta volatilidad del cloruro de metileno es recomendado trabajar los procesos en una campana de extracción.
- Usar guantes al momento de manipular el cloruro de metileno puesto que si este entra en contacto con la piel puede causar dermatitis o quemaduras químicas.
- Al momento de manipular el cloruro de metileno es necesario realizarlo lejos de fuente de calor como lo es una llama debido a que esta podría provocar un incendio dado a que el cloruro de metileno es inflamable.

**Condiciones de las muestras**

- Las muestras del cloruro de metileno utilizado como agente limpiador del equipo de elaboración de esponjas no deben haber alcanzado en ningún momento una temperatura mayor a 40°C.

## **Procedimiento**

### **- Filtración al vacío**

1. Con un lápiz, realizar un círculo sobre el papel filtro tomando el embudo para filtración al vacío como molde.
2. Recortar el círculo hecho con ayuda de una tijera siguiendo la línea lo mejor posible para asegurar que el papel filtro quepa en el embudo.
3. Meter el círculo recortado en el embudo de filtración al vacío asegurando que no queden espacios vacíos.
4. Conectar un extremo de la manguera al Erlenmeyer para filtración al vacío.
5. Conectar el otro extremo de la manguera a la válvula donde hay vacío.
6. Colocar el embudo con el papel filtro sobre el Erlenmeyer para filtración al vacío.
7. Asegurar que no hay entrada de aire entre el acople y el Erlenmeyer.
8. Tarar una balanza con un beaker de  $5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$  (500 mL)
9. En ese beaker, pesar 0.450 Kg de cloruro de metileno contaminado.
10. Anotar la masa obtenida.
11. Abrir la válvula de vacío.
12. Verter lentamente el beaker con el cloruro de metileno contaminado sobre el embudo de filtración al vacío.
13. Esperar a que todo el líquido pase por el embudo.
14. Cerrar la válvula de vacío.
15. Retirar el embudo de filtración al vacío del Erlenmeyer.
16. Tarar una balanza con un beaker de  $5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$  (500 mL)
17. En ese beaker, verter el cloruro de metileno filtrado.
18. Pesar con la balanza tarada el beaker que contiene el cloruro de metileno.
19. Anotar la masa obtenida.

### **- Evaporación**

1. Conectar la malla calefactora al enchufe.
2. Armar equipo de destilación con columna Vigreux.
3. Tarar una balanza con un beaker de  $5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$  (500 mL)
4. En ese beaker, pesar 0.180 Kg de cloruro de metileno contaminado ya filtrado.

5. Anotar la masa obtenida.
6. Verter los 0.180 Kg de cloruro de metileno contaminado ya filtrado en el balón que se coloca en la malla calefactora.
7. Colocar el balón en la malla calefactora
8. Conectar el balón al sistema de evaporación.
9. Colocar el clip de seguridad del sistema de evaporación.
10. Encender la manta calefactora en el nivel 5.
11. Controlar que la temperatura del termómetro no supere los 40 °C.
12. Apagar la malla calefactora cuando la temperatura del balón sea de 60°C.
13. Tarar una balanza con un beaker de  $2.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$  (250 mL).
14. Verter el evaporado sobre ese beaker.
15. Pesar el evaporado con la balanza tarada
16. Apuntar la masa determinada por la balanza.
17. Guardar el evaporado en frascos de cristal correctamente etiquetados.
18. Pesar el balón que contiene el no evaporado.
19. Limpiar balón con lo no evaporado colocando el residuo en un recipiente de cristal correctamente etiquetado.
20. Lavar el balón que contenía el no evaporado.
21. Secar el balón que contenía el no evaporado.
22. Pesar el balón que contenía el no evaporado.
23. Apuntar la masa determinada.
24. Restar la masa del balón pesado con lo no evaporado con menos el balón limpio.
25. Anotar la masa determinada para conocer cuanto no se evaporó.

- **Análisis de evaporado con cromatografía de gases**

1. Colocar la muestra de cloruro de metileno evaporado en el muestrario.
2. En la computadora, colocar el nombre de la muestra e identificarla con un código.
3. Abrir válvula de gas portador
4. Esperar a que el cromatógrafo se estabilice
5. Establecer temperatura del inyector
6. Esperar a que se realicen los análisis

7. Dar clic en la computadora donde dice correr muestra
8. Comparar los resultados para corroborar la evaporación.

### **Cálculos**

#### **Por medio de los datos obtenidos luego de la filtración al vacío**

Cálculo 1: Rendimiento del proceso de filtración.

$$\text{rendimiento} = \frac{M_f}{M_i} * 100$$

Donde:

$M_f$  = masa final

$M_i$  = masa inicial

Cálculo 2: Masa de sólidos suspendidos filtrados

$$\text{masa de sólidos suspendidos filtrados} = M_i - M_f$$

Donde:

$M_f$  = masa final

$M_i$  = masa inicial

Cálculo 3: Media del rendimiento de filtración.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + \dots + X_n}{N}$$

Donde:

$\bar{X}$  = media poblacional resultante

$X_{1,2,3,\dots,n}$  = datos a evaluar

$N$  = cantidad de datos evaluados

(Skoog, et. al. 2015)

Cálculo 4: Desviación estándar del rendimiento del proceso de filtración.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde:

$S$  = desviación estándar

$x$  = rendimiento de cada corrida

$\bar{x}$  = media del rendimiento

$n$  = tamaño de muestra

(Skoog, et. al. 2015)

Cálculo 5: Masa inicial de evaporación

$$m = B_{cf} - B_{sf}$$

Donde:

$B_{cf}$  = Beaker con filtrado

$B_{sf}$  = Beaker sin filtrado

Cálculo 6: Masa no evaporado

$$m = F_{NELI} - F_{NEV}$$

Donde:

$F_{NELI}$  = Frasco con no evaporado lleno

$F_{NEV}$  = Frascos con no evaporado vacío

Cálculo 7: Masa de pérdidas durante la evaporación

$$M_{PE} = M_{IE} - M_{NE} - M_E$$

Donde:

$M_{PE}$ : Masa perdidas en evaporación

$M_{IE}$ : Masa inicial de evaporación

$M_{NE}$ : Masa de no evaporado

$M_E$ : Masa de evaporado

Cálculo 8: Concentración de cloruro de metileno inicial

$$\begin{aligned}\dot{m}_1 * x_1 &= \dot{m}_2 * x_2 + \dot{m}_3 * x_3 + \dot{m}_4 * x_4 \\ x_1 &= \frac{\dot{m}_2 * x_2 + \dot{m}_3 * x_3 + \dot{m}_4 * x_4}{\dot{m}_1}\end{aligned}$$

Nota 1: Este cálculo se realizó para poder determinar la concentración de cloruro de metileno en la masa inicial de la evaporación, para ello es necesario realizar un balance de masa en el cual la entrada es la masa del cloruro de metileno contaminado antes de la evaporación y las salidas son las masas de lo que no se evaporó, la masa del evaporado y la masa de pérdidas de evaporación.

Cálculo 9: Rendimiento del proceso de evaporación

$$rendimiento = \frac{(C_f) * (M_f)}{(C_i) * (M_i)} * 100$$

Donde:

$C_f$  = concentración final de la evaporación

$M_f$  = masa del evaporado

$C_i$  = concentración inicial de la evaporación

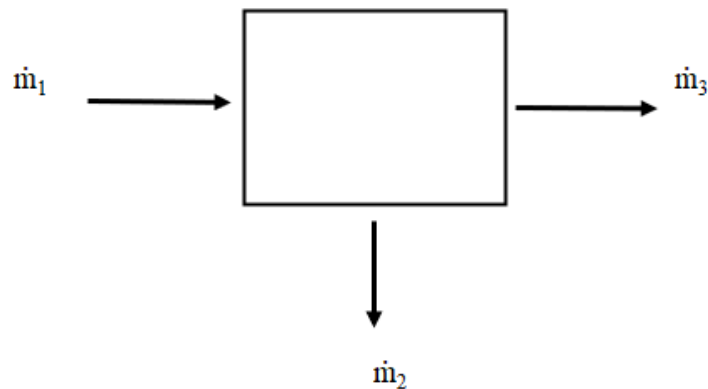
$M_i$  = masa inicial de la evaporación

### Interpretación de resultados

- Determinar el rendimiento de los procesos de filtración al vacío y de evaporación indica cual es la cantidad que se recuperó de las masas iniciales luego de realizar la operación unitaria.
- La cuantificación de la concentración inicial del cloruro de metileno antes de comenzar con el proceso de evaporación es crucial para obtener su rendimiento por lo que es necesario determinarla con ayuda de un balance de masa.
- La concentración de cloruro de metileno recuperado debe ser como mínimo igual o mayor la concentración del cloruro de metileno de grado industrial sin utilizar para garantizar que el procedimiento es aplicable.

### Reporte de resultados

**Figura 1.** Balance de masa del proceso de filtración

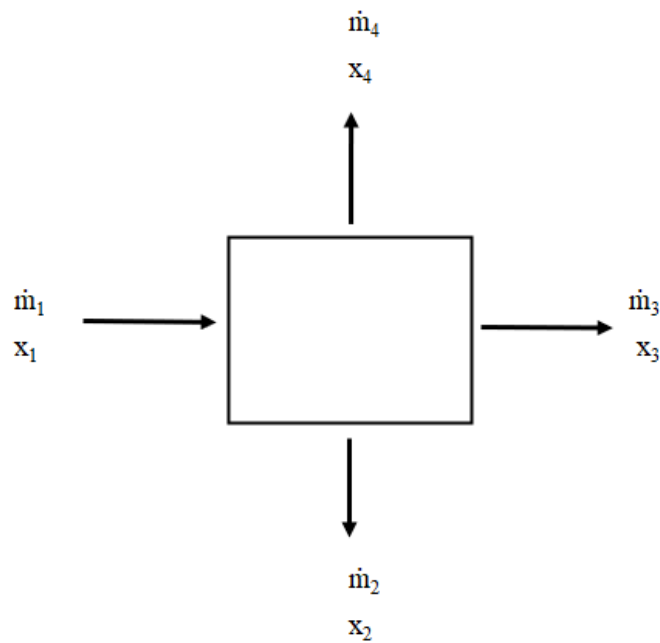


- El dato de  $\dot{m}_1$  es la masa inicial del cloruro de metileno contaminado antes de comenzar con la filtración,  $\dot{m}_3$  es la masa del cloruro de metileno luego de la filtración y la  $\dot{m}_2$  es la diferencia entre  $\dot{m}_1$  y  $\dot{m}_3$  que sería las pérdidas.

**Cuadro 1.** Rendimiento del proceso de filtración al vacío

Corrida	Rendimiento (% m/m)
1	
2	
3	
4	
Media	
Desviación estándar	

**Figura 2.** Balance de masa del proceso de evaporación



- La  $\dot{m}_1$  es la masa del cloruro de metileno filtrados, la  $x_1$  se determinó con el cálculo 8, la  $\dot{m}_2$  es la masa del no evaporado, la  $x_2$  se asume a 0, la  $\dot{m}_3$  es la masa del evaporado, la  $x_3$  es la concentración del evaporado, la  $\dot{m}_4$  viene del cálculo 7 y la  $x_4$  a 1.

**Cuadro 2. Rendimiento del proceso de evaporación**

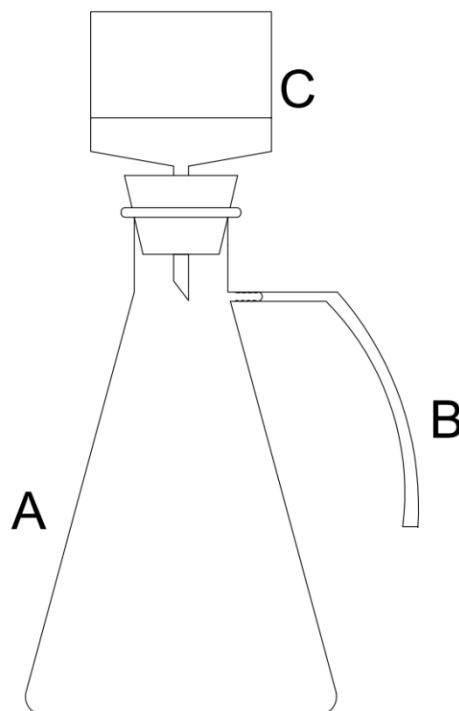
Corrida	Rendimiento (% m/m)
1	
2	
3	
4	
Media	
Desviación estándar	

**Palabras claves**

- Balance masa
- Concentración
- Rendimiento
- Viabilidad
- Volatilidad

**Sistema de biodegradabilidad**

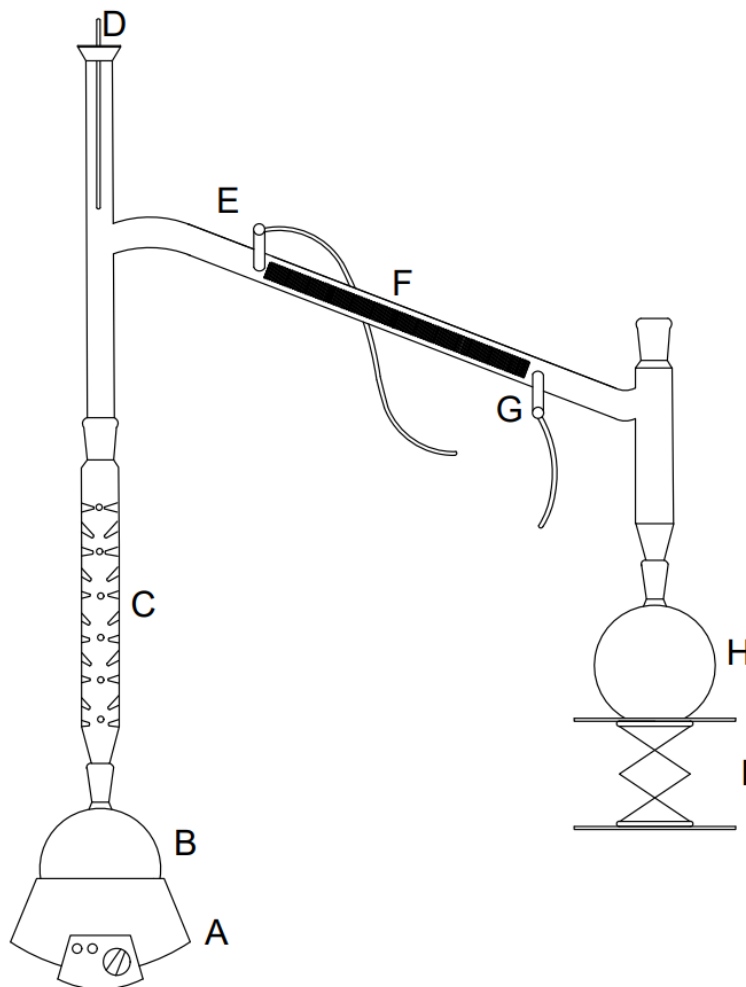
**Figura 3.** Sistema de filtración al vacío utilizando un matraz Kitasato



**Cuadro 3.** Partes del sistema de filtración al vacío con matraz Kitasato

Identificador	Nombre del equipo
A	Matraz Kitasato
B	Manguera para conectar a bomba de vacío
C	Embudo con papel filtro

**Figura 4.** Sistema de evaporación con columna Vigreux



**Cuadro 4.** *Partes del sistema de evaporación con columna Vigreux*

Identificador	Nombre del equipo
A	Malla calefactora
B	Balón con cloruro de metileno contaminado
C	Columna Vigreux
D	Termómetro de alcohol
E	Salida del agua para condensar
F	Condensador
G	Entrada del agua para condensar
H	Balón con el cloruro de metileno purificado
I	Ajustador de nivel

## VII. Discusión

Para la recuperación del cloruro de metileno utilizado como agente limpiador del equipo de elaboración de esponjas de poliuretano se plantearon dos operaciones unitarias, la primera fue una filtración al vacío para poder eliminar los residuos sólidos suspendidos seguido de una evaporación realizada con un kit de destilación utilizando una columna Vigreux para poder eliminar los sólidos disueltos.

Se realizó un cálculo para determinar qué número de muestras sería significativo para este proceso, como se puede observar en el cálculo 1, el número de lavadas que se realizaban con cloruro de metileno al mes fue de 60 y, luego de realizar el cálculo (Anderson, 2008) el resultado es de 4 muestras, esto debido a que siempre se realiza el mismo tipo de esponja y para recolectar las muestras se tomó una muestra a cada 15 lavadas del equipo, de esta manera se aseguró el muestreo fuera homogéneo. La forma en que se hacen las lavadas en el equipo industrial utilizado es por medio de arrastre, esto quiere decir que el cloruro de metileno pasa por todo el equipo donde pasó el poliuretano donde al final cae en una bandeja donde se recolecta con cubetas que luego son depositadas en un tanque de almacenamiento que es de donde se obtuvo las muestras, dado que todo se almacenaba en un solo recipiente, con ayuda un embudo, almacenar un kilo del solvente contaminado para su evaluación, donde se debió realizar 4 corridas por muestra.

Primero fue necesario realizar una filtración al vacío para poder separar los residuos sólidos suspendidos que se encontraban en la solución del cloruro de metileno, se utilizó un papel filtro comercial que cumpliera con los requisitos filtrantes, el cual es que sus poros sean menores al de los sólidos suspendidos en la solución (Ospina Zúñiga, 2022), que, según Ionescu (2016), la media de los sólidos de poliuretano suspendidos en una solución de cloruro de metileno es 100 micrómetros y la porosidad del medio filtrante utilizado es de 10 micrómetros.

Se realizó una filtración al vacío y no una por gravedad debido a que a una filtración al vacío ofrece la ventaja que reduce el tiempo de separación, también permite una separación más efectiva de partículas finas debido a que la succión es constante lo que asegura que el solvente pase completamente a través del medio filtrante. Otra ventaja que brinda la filtración al vacío es que minimiza el riesgo de filtración incompleta o pérdidas de solvente lo que es crucial en los procesos industriales donde se busca maximizar la recuperación de productos (Vilcarin Salcedo, 2019).

Como resultado de la filtración al vacío del cloruro de metileno contaminado se obtuvo una media de rendimiento de 92.77 % m/m con una desviación estándar 1.52 % m/m, cabe mencionar que una fuente de error al momento de realizar la filtración es que parte del cloruro contaminado se quedó adherido a las paredes del matraz lo que afectó al cálculo de masa del filtrado.

El segundo paso del proceso de recuperación fue una evaporación, se planteó esta operación unitaria debido a que es un método el cual separa un solvente de un soluto, esto gracias a su principio termodinámico el cual aprovecha la diferencia de los puntos de ebullición de los compuestos involucrados en la mezcla. Este proceso al ser impulsado por la adición de calor que aumenta la energía interna del sistema, hace que el solvente pase de un estado líquido a gaseoso el cual tiende a subir para luego ser condensado por un intercambiador de calor donde se obtiene el solvente nuevamente en su estado líquido pero esta vez con un grado de pureza mucho mayor (Carbajal Zamorano, 2021), por lo que el cloruro de metileno al tener un punto de ebullición de 40°C como se observa en el cuadro 1, la evaporación fue una opción viable.

Para el proceso de evaporación, se utilizó un kit de destilación de marca Pyrex como se observa en la figura 25, aunque se llame “kit de destilación” realmente la operación unitaria es una evaporación debido a que está separando un solvente de un soluto. En este kit de destilación se optó por utilizar una columna llamada Vigreux, esto debido a que esta aumenta la eficiencia de separación de los componentes en una mezcla, esto es gracias a que sus anillos proporcionan un aumento de superficie de contacto lo que ayuda a la condensación y vaporización repetida que mejora la separación de los componentes, esto se ve reflejado en un aumento de pureza de en el evaporado (Rodríguez y Zambrano, 2014).

Como agente refrigerante en el proceso de condensación del solvente se utilizó agua, esto debido a que su calor específico es de 4.18 J/ g °C (Perry y Green, 2018), el cual es relativamente alto lo que significa que puede absorber una gran cantidad de calor sin experimentar un gran cambio en su temperatura, lo que lo convierte en un excelente medio para intercambiar calor, también gracias a su alto calor específico, el agua mantiene la temperatura baja del condensador lo que es de gran ayuda para que el vapor pase a estado líquido. Otra de las grandes ventajas de utilizar agua es su disponibilidad y su bajo costo, esto gracias a que el agua se encuentra disponible en todas las industrias y también es mucho más económica que otros líquidos refrigerantes. También, a diferencia de otros refrigerantes industriales que pueden ser tóxicos o corrosivos, el

agua es segura y no tóxica, por lo que es adecuada para uso de laboratorio y procesos industriales sin riesgos significativos para la salud. El agua también es de fácil manejo y se puede tratar o reciclar fácilmente después de su uso en sistemas de enfriamiento, no requiere medias para su eliminación siempre y cuando se trate de manera adecuada para cumplir con las regulaciones ambientales (Obregón Quiñones, 2017).

Debido a que la presión a nivel de Guatemala es diferente a la presión a nivel del mar, se realizó el cálculo para determinar cuál sería la temperatura de ebullición del cloruro de metileno en estas condiciones, esto debido a que donde se realizó la experimentación fue en la ciudad de Guatemala, para ello se utilizó la ecuación de Clausius-Clapeyron que al realizar el cálculo se determinó que la temperatura de punto de ebullición del solvente es de 37.8 °C (cálculo 7) lo cual afecta de tal manera que es necesario utilizar menos energía para llevarlo a su punto de ebullición lo que provocaría una reducción en los costos de operación.

Como se mencionó, como compuesto refrigerante para el condensador se utilizó agua, está en ningún momento tiene contacto directo con el cloruro de metileno por lo que no se contamina, para su manejo luego de ser utilizada se podría enviar a un reservorio donde se aplicaría algún funguicida para evitar el crecimiento de microorganismo y así seguir utilizándola en el sistema de refrigeración como un sistema en recirculación y con los residuos sólidos que está compuesto principalmente de polioles y contiene trazas de cloruro de metileno, este debe estabilizarse mediante encapsulación con materiales inertes antes de su disposición en un relleno de seguridad o su destrucción térmica en un proceso autorizado (Caprari, 2008).

Luego de realizar la evaporación, con ayuda del cromatógrafo de gases de la marca Agilent Technologies serie 6850, se determinó una pureza de 99.47% m/m de cloruro de metileno recuperado y para determinar el rendimiento durante la evaporación también era necesario conocer la pureza del cloruro de metileno antes de comenzar a evaporar. Debido a que el cloruro de metileno contaminado poseía sólidos disueltos y que el cromatógrafo de gases funciona de tal manera que volatiliza los compuestos a analizar, al hacer esto con el cloruro de metileno contaminado provocaría que la columna se dañe por lo que determinar su concentración con ayuda del cromatógrafo de gases no era factible. Entonces se optó por realizar un balance de masa (figura 9) donde se conocía la masa inicial, la masa del evaporado y la masa del no evaporado, también se conocía la concentración del cloruro de metileno del evaporado, se asumió una concentración

de cloruro de metileno de 0 en el no evaporado, esto debido a que la solución fue calentada a 60°C y la temperatura de ebullición del cloruro de metileno es de 40°C por lo que se asume que ya no quedaba nada en el no evaporado, luego, se calculó la masa de pérdidas (cálculo 9) donde se asumió que el 100% m/m de las pérdidas era cloruro de metileno, por lo que su concentración fue de 1, conociendo estos valores ya se pudo resolver el balance de masa (cálculo 10) donde se determinó que la concentración inicial del cloruro de metileno fue de 0.7355 m/m.

Ya conociendo la masa inicial de la evaporación, concentración inicial de la evaporación, masa del evaporado y concentración del evaporado, se determinó la media del rendimiento de la evaporación (cálculo 11) el cual es de 96.10 % m/m con una desviación estándar de 1.22 % m/m, lo que quiere decir la operación unitaria de evaporación es un método viable para recuperar el cloruro de metileno, no solamente por su alta media de rendimiento sino también por su concentración final que fue de 99.47 % m/m.

Se utilizó un cromatógrafo de gases debido a que ofrece una alta resolución en la separación de compuestos, eso permite la identificación y cuantificación precisa de componente en mezclas compleja, su sensibilidad es suficiente para poder detectar y medir concentraciones de solventes incluso a niveles muy bajos. El cloruro de metileno al ser un solvente con una volatilidad alta hace que su análisis sea adecuado por medio de cromatografía de gases, también, el cromatógrafo de gases utiliza una columna capilar o empacada para separar los componentes de una muestra basada en sus interacciones con una fase estacionaria y su volatilidad, esta separación es eficaz para compuestos como el cloruro de metileno. La cromatografía de gases también permite un tiempo de análisis relativamente corto en comparación con otros métodos de separación, esto es útil en procesos industriales y de laboratorio donde es necesario un resultado rápido y preciso.

En el cromatógrafo de gases, no solamente se analizó el cloruro de metileno recuperado, si no también se determinó la concentración antes de usarlo para limpiar el equipo de elaboración de esponjas, este análisis determinó una concentración de 97.64 % m/m que al compararlo con el recuperado que es de 99.47 % m/m se observa que es menor al del recuperado, lo que quiere decir que el método planteado para recuperar el cloruro de metileno es viable.

Se realizó un análisis económico preliminar el cual solamente se tomó en cuenta los costos de operación del proceso de evaporación, esto debido a que es el proceso que mayor demanda energética conllevaría, este análisis económico no toma en cuenta los costos del equipo, de

instalación y de mantenimiento. También es necesario mencionar que este análisis fue realizado suponiendo que luego del proceso de limpieza del equipo de elaboración de esponjas no hay pérdidas del cloruro de metileno.

Los resultados de un análisis preliminar indican que al realizar un proceso de evaporación con un evaporador eléctrico de la marca Zewatech con una eficiencia de 75-95% se obtendría un ahorro de Q31,502.19 – Q31,547.96 mensuales, se escogió este evaporador debido a que es una marca comercial la cual sirve para tener una referencia, cabe recalcar que estos valores pueden variar dependiendo del tipo de evaporador, de alimentación del evaporador, su eficiencia y del costo de la fuente de energía utilizada. Estos valores de ahorros mensuales fueron determinados en relación con el costo de la energía eléctrica que brinda la empresa EGGSA, se utilizó el valor de la energía eléctrica de esta empresa debido a que es la que distribuye a la ciudad capital que es donde se encuentra la empresa local que brindó las muestras de cloruro de metileno contaminado y de los costos de la compra del cloruro de metileno grado industrial y de su manejo.

El rango de porcentaje de ahorro mensual es de 99.31% - 99.46%, es un porcentaje de ahorro alto debido a que al realizar la recuperación del cloruro de metileno contaminado no solamente se estaría eliminando el costo de contratar una empresa externa que se encargue de su eliminación si no también se evitaría la compra del cloruro de metileno grado industrial nuevo, otro aspecto que hace que el porcentaje de ahorro sea alto es que se asumen que todo el cloruro de metileno que es utilizado para limpiar el equipo de elaboración de esponjas se obtiene al finalizar el proceso de limpieza.

Se realizó un análisis de T de student dado a que su objetivo es comparar una media muestral con una media de referencia y así poder analizar si cualquier diferencia observada es estadísticamente significativa o si pudo haber ocurrido de forma aleatoria (Anderson, et al., 2008). Para ello se planteó dos hipótesis, como se observa en el cálculo 32, la hipótesis nula menciona que la media de la concentración del cloruro de metileno recuperado es igual a la media del cloruro de metileno de grado industrial sin utilizar y la hipótesis alternativa menciona que la media de la concentración del cloruro de metileno recuperado no es igual a la media del cloruro de metileno de grado industrial sin utilizar, al realizar la prueba t se obtuvo un valor de 3.025 que al analizarlo con su valor en la tabla t de student (figura 16) a un nivel de confianza de 95% que es de 2.3534 se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que la media de la concentración del cloruro de metileno

recuperado no es igual a la media del cloruro de metileno de grado industrial sin utilizar, esto sucede debido a que la media de la concentración del cloruro de metileno recuperado es mayor a la del cloruro de metileno sin utilizar, por lo que a pesar de que la hipótesis nula se rechazó, la viabilidad del método sigue siendo correcta.

Para realizar el dimensionamiento de un filtro a escala industrial, primero, es necesario determinar qué tipo de filtro se usará dado a que existe convencional o de flujo cruzado, en el filtrado convencional los fluidos fluyen de manera perpendicular al medio lo que generalmente resulta en una capa de sólidos que se queda atrapada en el medio filtrante. El principio de esta filtración está dado por la ley de Darcy la cual establece que la velocidad del fluido a través del medio poroso es directamente proporcional al gradiente de presión e inversamente proporcional a la resistencia que ofrece el medio, para esta ley es necesario contar con el volumen de filtrado, tiempo, área de sección transversal expuesta del filtro, caída de presión a través de la capa de sólidos, viscosidad del filtrado y la resistencia de la capa porosa, por lo que una caracterización del cloruro de metileno contaminado es necesaria.

En una filtración de flujo cruzado, los fluidos fluyen en paralelo a través del medio, esto para minimizar acumulación de sólidos en el medio. El modelo de Zydney y Colton (1986) describe cual es el comportamiento de la filtración de flujo cruzado para partículas suspendidas, el medio utilizado por lo general son membranas y es útil para procesos como la ultrafiltración y la microfiltración.

Con base a los estudios realizados en la experimentación, el tipo de filtración a utilizar sería una de presión positiva, esto dado a que la fuerza motriz para la filtración está dada por presión, vacío o gravedad, también este tipo de filtro posee la cualidad de ser un proceso batch, semicontinuo o continuo. Se determinó que la mejor opción sería una filtración a presión positiva, esto debido a que una presión negativa o también conocida como filtración por vacío podría provocar pérdidas del cloruro de metileno dado a que variar la presión negativamente hace que la presión de vapor aumente y este al ser un solvente altamente volátil se perdería parte del cloruro de metileno.

Se empleó la Ley Fundamental de Transferencia de Calor para determinar el área de transferencia de calor. Para ello, dicha ecuación fue despejada en función del área, permitiendo

obtener su valor con base en los parámetros experimentales medidos y los valores de referencia utilizados.

El valor de la cantidad de calor transferido fue previamente calculado mediante la ecuación de calor sensible, en la cual se consideró la masa y el calor específico del cloruro de metileno a recuperar en base a la producción mensual. Además, se trabajó con una temperatura de 110° C, correspondiente a la temperatura de un vapor saturado a una presión de 20.77 psig (Perry, 2018). Se utilizó un coeficiente global de transferencia de calor de 2044.15 KJ/ (h·m<sup>2</sup>·K), valor obtenido de Ludwig, 1995 para este solvente. Con estos datos, se determinó el área de transferencia de calor requerida en el sistema la cual es de 0.88 m<sup>2</sup> para una producción mensual equivalente a 2400 Kg, el área de transferencia de calor es directamente proporcional a la cantidad que se desee evaporar, se decidió realizar una propuesta mensual debido a que desde un punto de vista de eficiencia energética, realizar una única operación permite reducir las pérdidas de calor por arranques y paradas frecuentes, evitando ciclos innecesarios de calentamiento y enfriamiento que aumentan el consumo energético. Asimismo, en términos de costos operativos, minimizar la frecuencia de operación reduce el tiempo de preparación, monitoreo y mantenimiento del equipo, optimizando el uso de recursos.

## VIII. Conclusiones

De la separación de residuos sólidos suspendidos en el cloruro de metileno contaminado mediante una filtración vacío, se obtuvo una media de rendimiento de 92.77 % m/m y desviación estándar de 1.52 % m/m, lo que indica que en el proceso de filtración al vacío utilizando un medio filtrante con porosidad de 50 micrómetros es viable para eliminar residuos suspendidos.

La evaporación presentó ser un método efectivo para separar el cloruro de metileno de los compuestos disueltos en él, dado que se obtuvo una media de rendimiento de un 95.13 % m/m con una desviación estándar de 1.21 % m/m que al analizarlo con el cromatógrafo de gases de la marca Agilent Technologies serie 6850 presentó una pureza de 99.47 % m/m.

Al analizar el cloruro de metileno puro que se utiliza para limpiar el equipo de elaboración de esponjas con un cromatógrafo de gases marca Agilent Technologies serie 6850 presentó una pureza de 97.64 % m/m el cual es menor al porcentaje de pureza del cloruro de metileno recuperado el cual es de 99.47 % m/m, esto indica que el método planteado es viable para poder recuperar el solvente.

## **IX. Recomendaciones**

Realizar un balance económico tomando en cuenta inversiones del equipo e instalación de un filtrador vacío y evaporador industrial con sus equipos auxiliares, la energía necesaria para realizar todo el procedimiento y operarios, esto para determinar si el procedimiento es rentable o si es mejor comprar cloruro de metileno nuevo.

Realizar un dimensionamiento de equipo, tanto del filtrador al vacío y del evaporador con sus equipos auxiliares como bombas, válvulas, tipo de empaque del evaporador, etc. proponiendo precios, marcas y distribuidores en Guatemala.

Caracterizar el cloruro de metileno que ya fue utilizado como agente limpiador en el equipo de elaboración de esponjas de poliuretano para conocer sus aspectos fisicoquímicos los cuales sirvan para el dimensionamiento y selección de un filtro adecuado.

Evaluar otras operaciones unitarias o variables de las planteadas servirían para recuperar el cloruro de metileno utilizado como agente limpiador en el equipo de elaboración de esponjas de poliuretano.

Determinar qué tipo de evaporador presenta un mejor ahorro económico mensual para la recuperación de cloruro de metileno utilizado como agente limpiador en el equipo de elaboración de esponjas de poliuretano, si uno eléctrico o uno alimentado por algún diesel.

Determinar si el método planteado para la recuperación del cloruro de metileno utilizado como agente limpiador en el equipo de elaboración de esponjas es aplicable a otras industrias que utilicen el cloruro de metileno para limpiar sus equipos.

## X. Bibliografía

Anderson, D. R., Sweeney, D., y Thomas, W. (2008). *Estadística para la administración y economía*. Cengage Learning.

Angurell, I., Casamitjana, N., Caubet, A., Dinares, I., Llor, N., Muñoz, D., Nicolas, E., Pujol, D. (2016). *Operaciones básicas de laboratorio de química*. Universidad de

Barcelona. <https://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/filtracio.html#:~:text=Se%20denomina%20filtraci%C3%B3n%20al%20proceso,que%20retenga%20las%20part%C3%ADculas%20s%C3%B3lidas>.

Bos, P. M. J., Zeilmaker, M. J., y van Eijkeren, J. C. H. (2006). Application of physiologically based pharmacokinetic modeling in setting acute exposure guideline levels for methylene chloride. *Toxicological Sciences*, 91(2), 576-585.

Caprari, J. J. (2008). *Aspectos ambientales en las pinturas* (1).

Carbajal Zamorano, E. S. (2021). *Evaluación de la evolución reológica, genética y fisicoquímica en el proceso de evaporación de efluentes de la industria alcoholera*.

Carbotecnia. (2020). *¿Qué es la filtración de lecho profundo?* Carbotecnia.

<https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/filtros-de-lecho-profundo/>

Chamba, A., y Paredes, P. (2014). *Pérdidas por evaporación de acetato de etilo y cloruro de metileno controlados por el consep. procesos y energía*, 1(1), 33-40.

Comunicación Grupo Esneca. (2022). *Cromatografía de gases: qué es y para qué sirve - ELBS*.

Escuela ELBS. <https://escuelaelbs.com/que-es-cromatografia-gases/>

Correia, A., Colmenares M. C, Bertiz, O., y Sousa, C. (2010). *Propuesta de un sistema de control de emisiones atmosféricas para el proceso de fabricación de moldeados...* ResearchGate; University of Carabobo.

[https://www.researchgate.net/publication/237039106\\_Propuesta\\_de\\_un\\_sistema\\_de\\_control\\_de\\_emisiones\\_atmosfericas\\_para\\_el\\_proceso\\_de\\_fabricacion\\_de\\_moldeados\\_de\\_poliuretano](https://www.researchgate.net/publication/237039106_Propuesta_de_un_sistema_de_control_de_emisiones_atmosfericas_para_el_proceso_de_fabricacion_de_moldeados_de_poliuretano)

*Cromatografía de gases* / Unidad de Informática del Instituto de Química. (2016). Unam.mx.

<https://uniiquim.iquimica.unam.mx/glossary/cromatografia-de-gases/>

Deproins. (2021). *Diseño de filtro de mangas en Guayaquil | Ingeniería*. Deproinsa.com.ec.  
<https://deproinsa.com.ec/proyectos-industriales/filtro-de-mangas/>

Dianelys Ondarse Álvarez. (2018). *Destilación - Concepto, tipos y ejemplos*. Concepto;  
Concepto. <https://concepto.de/destilacion/>

*Evaporadores Industriales Alta Eficiencia - Zewatech*. (2024, July 24). Zewatech.  
<https://zewatech.com/evaporadores-industriales/>

*Filtro de hoja de presión vertical para separación sólido-líquido*. (2021). Hankefilters.com.  
<https://www.hankefilters.com/es/products/pressure-leaf-filters/vertical-type.html>

*Filtro de tambor rotatorio - Biolight*. (2022). Biolight. <https://biolight.cl/filtro-de-tambor-rotatorio/>

Girón Pacay, S. J. (2015). DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE PRODUCCIÓN EN LA MANUFACTURA DE ESPONJA DE POLIURETANO, UTILIZADA EN LA FABRICACIÓN DE MUEBLES EN LA EMPRESA DIVECO S. A. [Tesis]. Universidad de San Carlos de Guatemala.

Guerra, H., y Archivo. (2024, April 30). *Hernán Guerra Fotógrafo: Archivo*. Dca.gob.gt.  
<https://dca.gob.gt/noticias-guatemala-diario-centro-america/tarifas-de-luz-siguen-iguales/>

*Hoja de Datos de Seguridad Cloruro de Metileno 1. Identificación del producto y de la compañía*. (2022), from [https://qdelta.com.mx/cat/docs/080100GR\\_SEG.pdf](https://qdelta.com.mx/cat/docs/080100GR_SEG.pdf)

Ionescu, M. E. (2016). *Chemistry and Technology of PolyOls for Polyurethanes* (2.<sup>a</sup> ed., Vol. 1).

Juárez Franco, C. A. (2013). *Evaluación de la operación de un filtro prensa dentro del proceso de filtración de bebidas alcohólicas*. Universidad San Carlos de Guatemala.

*Letslab, global distributor of laboratory equipment*. (2024). Letslab Delivering Solutions, SLU.  
<https://www.letslab.com/>

García, A. L., Por, A., Jorge, I., y Soto Bran, A. (2010). IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROLES DE PRODUCCIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE LA ESPUMA DE POLIURETANO, PARA LA INDUSTRIA MANUFACTURERA.

[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2231\\_IN.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2231_IN.pdf)

Ludwig, E. E. (1995). *Applied process design for chemical and petrochemical plants* (Vol. 2). Gulf Professional Publishing.

Máquina JXSC. (2024). Máquina JXSC. <https://www.jxscmachine.com/es/manual-de-filtro-prensa/>

Micronics. (2022). *Micronics, Inc.* Grupo de Ingeniería de Filtración de Micronics. <https://www.micronicsinc.com/es/filtration-news/rotary-vacuum-disc-filter-basics/>

MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. (2016.) Acuerdo gubernativo 137-2016 <https://www.marn.gob.gt/Multimedios/4739.pdf>

Miranda Caballero, A., Iglesias Coronel, C. E., Ribert Molleda, Y., Santos González, F., y Castells Hernández, S. (2011). Determinación del contenido de impurezas durante la cosecha de arroz. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(4), 53-56.

Morales Chávez, C. E. (2012). *DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE EVAPORACIÓN DOBLE EFECTO UBICADO EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS, USAC* [Universidad San Carlos de Guatemala]. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1278\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1278_Q.pdf)

Ospina Zúñiga, O. E., Cardona García, O. H., Leyva Londoño, J. P., y Ramirez, D. (2022). Dispositivo con filtros en serie para tratar fluidos para suministro y método para tratar los fluidos con la ayuda de un coagulante orgánico.

Perry, R. H., y Green, D. W. (2018). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (9th ed.). McGraw-Hill Education.

Porto, J. P., y Merino, M. (2022). *Recuperación - qué es, usos, definición y concepto*. Definición.de. <https://definicion.de/recuperacion/>

Prada Forero, L. E., García Bernal, H. R., y Chaves Guerrero, A. (2015). Efecto de las variables de evaporación: presión y flujo calórico en la calidad de la panela. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(1), 7-23.

*Recuperación de solventes*. (2019). Contyquim; <https://contyquim.com/blog/recuperacion-de-solventes>

Rodríguez, N., y Zambrano, D. A. (2014). Producción de alcohol a partir del mucílago de café.

Ruparelia, J. P (2015). Proceimiento para elaborar una esponja en base a espuma de poliuretano la cual contiene nano partical de cobre como aditivo bactericida y funguicida.

Shinde, V. (2023). *Fuentes de impurezas en sustancias farmacéuticas*.

Veeprho. <https://veeprho.com/fuentes-de-impurezas-en-sustancias-farmaceuticas/#:~:text=Las%20impurezas%20se%20clasifican%20como,sint%C3%A9ticos%20y%20productos%20de%20degradaci%C3%B3n.>

*Tipo de Cambio - Banco de Guatemala*. (2024). Banguat.gob.gt.

[https://www.banguat.gob.gt/tipo\\_cambio/](https://www.banguat.gob.gt/tipo_cambio/)

Vilcarin Salcedo, R. J. (2019). Sistemas de filtración.

## XI. Anexos

### A. Datos originales

**Cuadro 11.** *Cantidad de limpiezas que realizan durante un mes*

Cantidad de limpiezas por día	3
Días trabajados a la semana	5
Tiempo que tardan en hacer todas las esponjas	1 mes

- La cantidad de limpiezas que hacen al día, los días que trabajan durante la semana y el tiempo que tardan en realizar todas sus esponjas se muestran en este cuadro, esta información fue brindada por una planta de producción de esponjas de poliuretano local.

**Cuadro 12.** *Masa inicial y final del cloruro de metileno contaminado utilizado durante el proceso de filtración*

Corrida	Masa inicial (g)	Masa final (g)
1	463.5 ± 0.1	428.8 ± 0.1
2	486.2 ± 0.1	442.7 ± 0.1
3	496.9 ± 0.1	470.8 ± 0.1
4	482.2 ± 0.1	447.4 ± 0.1

- Tanto la masa inicial como la masa final del proceso de filtración al vacío del cloruro de metileno contaminado fue medida con una balanza de marca Ohaus con una incertidumbre de ± 0.1 g.

**Cuadro 13.** *Masas de los datos del proceso de evaporación*

Corrida	Beaker con filtrado (g)	Beaker sin filtrado (g)	Frasco con no evaporado lleno (g)	Frasco con no evaporado vacío (g)	Masa evaporado (g)
1	182.7 ± 0.1	0.4 ± 0.1	348.8 ± 0.1	224.1 ± 0.1	125.8 ± 0.1
2	178.6 ± 0.1	0.4 ± 0.1	347.7 ± 0.1	224.1 ± 0.1	126 ± 0.1
3	180.3 ± 0.1	0.4 ± 0.1	348.4 ± 0.1	224.1 ± 0.1	127.34 ± 0.1
4	181.7 ± 0.1	0.4 ± 0.1	349.3 ± 0.1	224.1 ± 0.1	128.48 ± 0.1

- El beaker con filtrado es la masa del cloruro de metileno inicial que fue introducida al balón para realizar la evaporación, el beaker sin filtrado es la masa del cloruro de metileno que no fue introducida en el balón para realizar la evaporación debido a que parte del cloruro de metileno se quedó adherido a las paredes del beaker, el frasco con no evaporado lleno es la masa del balón más lo que no se evaporó, el frasco con no evaporado vacío es la masa del balón limpio, es decir, ya sin el no evaporado y la masa evaporado es la masa de cloruro de metileno luego de realizar la evaporación.

**Cuadro 14.** *Análisis por cromatografía de gases del cloruro de metileno sin usar*

% Área	Compuesto	Referencia	% Parentesco
97.64	Cloruro de metileno	1499	72
		1497	59
		1500	53
2.36	ftalato de bis(2-etilhexilo)	168501	83
	Ácido bencenodicarboxílico	175200	64
	Ácido ftálico	151811	64

- El análisis fue realizado con un cromatógrafo de gases de la marca Agilent Technologies serie 6850. Estos resultados son del cloruro de metileno sin si utilizar, es decir, un cloruro de metileno de grado industrial que aún no se ha utilizado para limpiar el equipo de elaboración de esponjas.

**Cuadro 15.** *Análisis por cromatografía de gases del cloruro de metileno recuperado*

% Área	Compuesto	Referencia	% Parentesco
0.09	Amoníaco	6	2
	Agua	7	1
99.42	Cloruro de metileno	1497	95
		1499	91
		1498	91
0.05		1498	64
		1499	62
		1500	59
0.05	Piperazina	1586	7
	Benzaldehído	62327	7
	1, 2, 5- Oxadiazol-3carboxamide	83	4
0.06	Piperazina	1586	4
	Piperazina	1588	4
	Aminobutiramida	177009	4
0.06	Benzaldehído	62327	4
	Oxido nitroso	83	4
	Oxido nitroso	82	4
0.13	Acetamida	62063	43
	Tetraxilosano	130465	38
	Silano	72522	38
0.14	Silano	72522	47
	Trimetil (4-tert.-butylphenoxy) silano	72670	43
	Trimetil (4-tert.-butylphenoxy) silano	83637	38

- El análisis fue realizado con un cromatógrafo de gases de la marca Agilent Technologies serie 6850. Estos resultados son del cloruro de metileno luego del proceso de recuperación.

**Cuadro 16.** *Datos necesarios para determinar el costo mensual de la compra del cloruro de metileno para limpiar el equipo de elaboración de esponjas de poliuretano*

Variable	Cantidad	Dimensional
Cantidad de cloruro de metileno usado por limpieza	40	Kg
Cuánto cuesta el cloruro de metileno	1.05	\$/Kg
Cuánto cuesta la eliminación del cloruro	5.1	Q/Kg

- Los datos fueron proporcionados por una empresa local de producción de esponjas de poliuretano.

**Cuadro 17.** *Temperatura inicial y final del cloruro de metileno luego del proceso de evaporación en grados Celsius*

Temperatura inicial y temperatura final del proceso de evaporación					
T1	25	°C	T2	40	°C

- La evaporación terminó a 40°C debido a que este es el punto de ebullición del cloruro de metileno.

**Cuadro 18.** *Datos para determinar la capacidad calorífica específica del cloruro de metileno en estado líquido*

Nombre	Formula	Mol wt	C1	C2	C3	C4	C5
Cloruro de metileno	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	84.93258	98968	-62.941	0.23265	0	0

(Perry, R. H., y Green, D. W. 2018)

- Estos datos son necesarios para poder determinar la capacidad calorífica específica del cloruro de metileno en estado líquido, estos datos fueron tomados del libro de ingeniería química de Perry.

**Cuadro 19.** Datos para determinar el calor latente del cloruro de metileno de fase líquido a gaseoso

Nombre	Formula	Mol wt	C1	C2	C3	C4	Tc °K
Cloruro de metileno	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	84.93258	4.8739E-07	0.9583	-0.79374	0.28069	510

(Perry, R. H., y Green, D. W. 2018)

- Estos datos son necesarios para poder determinar el calor latente del cloruro de metileno de estado líquido a gaseoso, estos datos fueron tomados del libro de ingeniería química de Perry.

**Cuadro 20.** Media del cambio de quetzales a dólares estimado en el último año

Cambio de quetzales a dólares	7.73	Q/\$
-------------------------------	------	------

(Tipo de Cambio - Banco de Guatemala, 2024)

- Este es el cambio de quetzales a dólares, fue estimado por una media del último año según el banco de Guatemala

**Cuadro 21.** Precio de la luz determinado por EEGSA en Q/Kwh

Precio de la luz	1.44	Q/Kwh
------------------	------	-------

(Guerra, 2024)

- Este es el valor de la energía eléctrica para la ciudad capital, fue estimado por una media del último año según el banco de Guatemala

**Cuadro 22.** Rango de eficiencia de evaporadores eléctricos de la marca Zewatech

Rango de eficiencia	75% - 0.85%
---------------------	-------------

(Evaporadores Industriales Alta Eficiencia - Zewatech, 2024)

- Este es el rango de eficiencia a la que opera un evaporador de marca Zewatech, dicho rango sirve como referencia para la estimación.

## B. Datos calculados

**Cuadro 23.** *Número de corridas a realizar*

Número de limpiezas de equipo	60
Cálculo de muestra	4

- Esta es la cantidad de limpiezas que hacen al equipo de elaboración de esponjas durante un mes y también la cantidad de muestras a analizar, estas muestras fueron tomadas a lo largo de todo el mes.

**Cuadro 24.** *Datos calculados del proceso de filtración vacío*

Corrida	Masa de residuos sólidos suspendidos filtrados (g)	Recuperado (% m/m)
1	$34.7 \pm 0.2$	$92.51 \pm 0.03$
2	$43.5 \pm 0.2$	$91.05 \pm 0.03$
3	$26.1 \pm 0.2$	$94.75 \pm 0.03$
4	$34.8 \pm 0.2$	$92.78 \pm 0.03$
Media	34.78	92.77
Desviación estándar	7.10	1.52

- Se observa la masa de residuos sólido-suspendidos que fueron filtrados y también el porcentaje recuperado, estos datos fueron determinados para cada una de las cuatro corridas realizadas, también se puede observar la media y su desviación estándar.

**Cuadro 25.** *Estadística de los datos originales de filtración al vacío*

	Peso inicial (g)	Peso final (g)
Media	482.2	447.43
Desviación estándar	13.93	17.47

- Se calculó la media con su desviación estándar de los datos originales del proceso de filtración al vacío.

**Cuadro 26.** Masa de pérdidas durante el proceso de evaporación

Corrida	Perdidas (g)
1	9.20 ± 0.3
2	6.00 ± 0.3
3	5.66 ± 0.3
4	5.02 ± 0.3
Media	6.47
Desviación estándar	1.86

- Se calculó la masa del cloruro de metileno perdido durante el proceso de evaporación, con su media y desviación estándar.

**Cuadro 27.** Concentración inicial del cloruro de metileno antes de la evaporación

Concentración de cloruro de metileno	0.7355 m/m
--------------------------------------	------------

- La concentración del cloruro de metileno antes de comenzar con la evaporación se calculó con ayuda del balance de masa del proceso de evaporación.

**Cuadro 28.** Datos calculados del proceso de evaporación

Corrida	Masa inicial de evaporación (g)	Masa no evaporado (g)	Recuperado (% m/m)
1	182.3 ± 0.2	47.3 ± 0.1	93.33 ± 0.03
2	178.2 ± 0.2	46.2 ± 0.1	95.63 ± 0.03
3	179.9 ± 0.2	46.9 ± 0.1	95.73 ± 0.03
4	181.3 ± 0.2	47.8 ± 0.1	95.84 ± 0.03
Media	180.43	47.05	95.13
Desviación estándar	1.78	0.68	1.21

- Se calculó la masa inicial de evaporación que es la masa del cloruro de metileno que fue introducida al balón para comenzar con la evaporación y también la masa no evaporada que es la masa que no se evaporó, es decir, el residuo de la evaporación.

**Cuadro 29.** Estadística de datos originales de evaporación

	Beaker con filtrado (g)	Beaker sin filtrado (g)	Frasco con no evaporado lleno (g)	Frasco con no filtrado vacío (g)	Masa evaporado (g)
Media	180.43	0.40	348.55	301.50	126.91
Desviación estándar	1.78	0.00	0.68	0.00	1.25

- Se calculó la media y la desviación estándar de los datos originales del proceso de evaporación.

**Cuadro 30.** Temperatura inicial y final del cloruro de metileno luego del proceso de evaporación en grados Kelvin

Temperatura inicial y temperatura final del proceso de evaporación					
T1	298.15	°K	T2	313.15	°K

- Se determinó la temperatura en grados Kelvin a la cual inicio el proceso de evaporación y en que temperatura terminó.

**Cuadro 31.** Capacidad calorífica específica del cloruro de metileno en estado líquido en un rango de temperatura entre 25°C a 40°C

Nombre	Cp (J/Kmol*K)	Cp (KJ/Kg*K)
Cloruro de metileno	1477442.627	17.395

- Se calculó la capacidad calorífica específica del cloruro de metileno en un rango de 25°C a 40°C.

**Cuadro 32.** *Calor latente del cloruro de metileno de estado líquido a gaseoso a 40 grados Celsius*

Nombre	Tr	Cl (J/Kmol)	Cl (KJ/Kg)
Cloruro de metileno	0.614019608	2.81466E-07	3.314E-12

- Se determinó cual es el calor latente del cloruro de metileno cuando pasa de estado líquido a gaseoso.

**Cuadro 33.** *Costo mensual de la compra del cloruro de metileno y costo mensual de su eliminación*

Cantidad de cloruro que usan para limpiar al mes	2400	Kg/mes
Costo del cloruro de metileno al mes	2520	\$/mes
Precio en quetzales	19479.6	Q/mes
Costo de la eliminación del cloruro de metileno	12240	Q/mes
Costo mensual de la compra de cloruro de metileno y costo de su eliminación	31719.6	Q/mes

- Se determinó cuanto cloruro de metileno utilizan al mes, cual es costo que este cloruro de metileno representa mensualmente tanto en dólares como en quetzales y cuál es el costo de la eliminación del cloruro de metileno contaminado al mes.

**Cuadro 34.** *Energía necesaria para poder evaporar el cloruro de metileno usado en la elaboración de esponjas al mes a nivel industrial*

Cantidad de cloruro que usan para limpiar al mes (100)	2343.36	Kg/mes
Energía necesaria para llevar el cloruro de metileno de 25°C 40°C	40763.86	KJ/mes
Energía necesaria para cambiar de fase líquida a gaseosa el cloruro de metileno	7.76589E-09	KJ/mes
Energía necesaria para evaporar el cloruro de metileno	40763.86	KJ/mes

- Se calculó cual es la cantidad del cloruro de metileno al cien por ciento que viene en lo que se compra mensualmente, también se puede observar cual es la energía necesaria para poder llevar de 25°C a 40°C esta cantidad de cloruro de metileno y la energía necesaria

para cambiar su estado de líquido a gaseoso, al final se puede observar la energía total para poder realizar la evaporación.

**Cuadro 35.** Precio de la luz determinado por EEGSA en Q/KJ

Precio de la luz	0.004	Q/KJ
------------------	-------	------

**Cuadro 36.** Costo de operación del proceso de evaporación en cada uno de los casos posibles

Costo de operación		
163.06	Q/mes	Caso ideal
217.41	Q/mes	Peor de los casos
171.64	Q/mes	Mejor de los casos

- Se observa cual es el costo de operación si la eficiencia del evaporador fuera de cien porcientos (caso ideal) y el cual es costo de operación tanto en el peor de los casos y el mejor de los casos.

**Cuadro 37.** Ahorro mensual de la compra y eliminación de cloruro de metileno por el proceso de recuperación por evaporación

Ahorro mensual		
31,502.19	Q/mes	Peor de los casos
31,547.96	Q/mes	Mejor de los casos

- Se observar cual es el ahorro que se tendría si se realiza la recuperación del cloruro de metileno por medio de una evaporación, tanto en el peor de los casos como en el mejor de los casos.

## C. Cálculo de muestra

### Cálculo 1. *Tamaño de población*

$$N = \frac{3 \text{ limpiezas}}{\text{día}} * \frac{5 \text{ días}}{1 \text{ semana}} * \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} = 60 \text{ limpiezas}$$

- Por medio de igualdades se determinó la cantidad de limpiezas que hacen al mes. Los datos de este cálculo se encuentran en el cuadro 11.

### Ecuación 1. *Tamaño de muestra*

$$n = \frac{S^2}{\frac{E^2}{Z^2} + \frac{S^2}{N}}$$

Donde:

n = número de muestra

E = es el error

Z = para la un n nivel de confianza al 95%

N = es la población

(Anderson, D.R. *et. al.* 2008)

### Cálculo 2. *Cálculo de corridas*

$$n = \frac{0.01^2}{\frac{0.01^2}{1.96^2} + \frac{0.01^2}{60}} = 3.61 \approx 4 \text{ muestras}$$

### Ecuación 2. *Rendimiento del proceso de filtración*

$$\text{Rendimiento} = \frac{M_f}{M_i} * 100$$

Donde:

$M_f$  = masa final

$M_i$  = masa inicial

**Cálculo 3.** *Rendimiento del proceso de filtración*

$$\text{Rendimiento} = \frac{428.8 \text{ g}}{463.5 \text{ g}} * 100 = 92.51 \% \text{ m/m}$$

- Este cálculo tiene los datos de la corrida uno y se realizado para las cuatro corridas, los datos se encuentran en el cuadro 13.

**Ecuación 3.** *Masa de sólidos suspendidos filtrados*

$$\text{Sólidos suspendidos filtrados} = M_i - M_f$$

Donde:

$M_f$  = masa final

$M_i$  = masa inicial

**Cálculo 4.** *Masa de sólidos suspendidos filtrados*

$$\text{Sólidos suspendidos filtrados} = 463.5 \text{ g} - 428.8 \text{ g} = 34.7 \text{ g}$$

- Este cálculo tiene los datos de la corrida uno y se realizado para las cuatro corridas, los datos se encuentran en el cuadro 13.

**Ecuación 4.** *Valor promedio de una población*

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + \dots + X_n}{N}$$

Donde:

$\bar{X}$  = media poblacional resultante

$X_{1,2,3,\dots,n}$  = datos a evaluar

$N$  = cantidad de datos evaluados

(Skoog, et. al. 2015)

**Cálculo 5.** *Media del rendimiento de filtración*

$$\bar{X} = \frac{92.51 + 91.05 + 94.75 + 92.78}{4} = 92.77\% \text{ m/m}$$

- Este cálculo se realizó tanto para los resultados del rendimiento de la filtración y para los resultados de los cálculos realizados de evaporación.

**Ecuación 5.** *Desviación estándar*

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde:

$S$  = desviación estándar

$x$  = rendimiento de cada corrida

$\bar{x}$  = media del rendimiento

$n$  = tamaño de muestra

(Skoog, et. al. 2015)

**Cálculo 6.** *Desviación estándar del rendimiento del proceso de filtración*

$$S = \sqrt{\frac{(92.51 - 92.77)^2 + (91.05 - 92.77)^2 + (94.75 - 92.77)^2 + (92.78 - 92.77)^2}{4 - 1}}$$

$$S = 1.52 \% m/m$$

- Este cálculo se realizó tanto para los resultados del rendimiento de la filtración y para los resultados de los cálculos realizados de evaporación.

**Ecuación 6.** *Masa inicial de evaporación*

$$m = B_{cf} - B_{sf}$$

Donde:

$B_{cf}$  = Beaker con filtrado

$B_{sf}$  = Beaker sin filtrado

**Ecuación 7.** *Punto de ebullición del cloruro de metileno en condiciones de Ciudad de Guatemala*

$$\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = \frac{\Delta H_V}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

- Para determinar el punto de ebullición del cloruro de metileno en condiciones de ciudad de Guatemala se utilizó la ecuación de Clausius-Clapeyron.

Donde:

$P_2$  = presión a la que se está trabajando

$P_1$  = presión en condiciones estándar

$\Delta H_V$  = entalpía de vaporización del compuesto

$R$  = constante de gases ideales

$T_1$  = temperatura a la cual ebulle el compuesto en condiciones estándar

$T_2$  = temperatura a la cual ebulle el compuesto en condiciones trabajadas

**Cálculo 7.** Punto de ebullición del cloruro de metileno en condiciones de Ciudad de Guatemala

$$\ln\left(\frac{14.32 \text{ psia}}{14.7 \text{ psia}}\right) = \frac{0.0002814 \text{ J/mol}}{8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} * \text{K}}}\left(\frac{1}{313.15 \text{ K}} - \frac{1}{T_2}\right)$$

$$T_2 = 311.95 \text{ }^\circ\text{K} = 38.8 \text{ }^\circ\text{C}$$

**Cálculo 8.** Masa inicial de evaporación

$$m = 182.7\text{g} - 0.4\text{g} = 182.3\text{g}$$

- Este cálculo tiene los datos de la corrida uno y se realizó el mismo procedimiento para las cuatro corridas, los datos provienen del cuadro 13.

**Ecuación 8.** Masa no evaporado

$$m = F_{NELI} - F_{NEV}$$

Donde:

$F_{NELI}$  = Frasco con no evaporado lleno

$F_{NEV}$  = Frascos con no evaporado vacío

**Cálculo 9.** Masa no evaporado

$$m = 348.8\text{g} - 301.5\text{g} = 47.3\text{g}$$

- Este cálculo tiene los datos de la corrida uno y se realizó el mismo procedimiento para las cuatro corridas, los datos provienen del cuadro 14.

Ecuación 9: Masa de pérdidas durante la evaporación.

$$M_{PE} = M_{IE} - M_{NE} - M_E$$

Donde:

$M_{PE}$ : Masa perdidas en evaporación

$M_{IE}$ : Masa inicial de evaporación

$M_{NE}$ : Masa de no evaporado

$M_E$ : Masa de evaporado

**Cálculo 10.** *Masa de pérdidas durante la evaporación*

$$M_{PE} = 182.3g - 47.3g - 125.8g$$

$$M_{PE} = 9.20 g$$

- Este cálculo tiene los datos de la corrida uno y se realizó el mismo procedimiento para las cuatro corridas,  $M_{IE}$  viene del cuadro 28  $M_{NE}$  viene del cuadro 28 y  $M_E$  viene del cuadro 13.

**Ecuación 10.** *Balance de masa del proceso de evaporación*

$$\dot{m}_1 * x_1 = \dot{m}_2 * x_2 + \dot{m}_3 * x_3 + \dot{m}_4 * x_4$$

**Cálculo 11.** *Concentración de cloruro de metileno inicial*

$$\left(180.43 \frac{g}{h}\right) * x_1 = \left(47.05 \frac{g}{h}\right) * (0.0) + \left(126.91 \frac{g}{h}\right) * (0.9947) + \left(6.47 \frac{g}{h}\right) * (1)$$

$$(180.43) * x_1 = \left(126.91 \frac{g}{h}\right) * (0.9947) + \left(6.47 \frac{g}{h}\right) * (1)$$

$$x_1 = \frac{\left(126.91 \frac{g}{h}\right) * (0.9947) + \left(6.47 \frac{g}{h}\right) * (1)}{\left(180.43 \frac{g}{h}\right)}$$

$$x_1 = 0.7355$$

- Este cálculo se realizó para poder determinar la concentración de cloruro de metileno en la masa inicial de la evaporación, para ello se utilizó la figura 15 como referencia para resolver el balance de masa.

**Ecuación 11.** *Rendimiento del proceso de evaporación*

$$Rendimiento = \frac{(C_f) * (M_f)}{(C_i) * (M_i)} * 100$$

Donde:

$C_f$  = concentración final de la evaporación

$M_f$  = masa del evaporado

$C_i$  = concentración inicial de la evaporación

$M_i$  = masa inicial de la evaporación

**Cálculo 12.** *Rendimiento del proceso de evaporación*

$$\text{Rendimiento} = \frac{(0.9947) * (125.8 \text{ g})}{(0.7355) * (182.3 \text{ g})} * 100 = 93.33 \% \text{ m/m}$$

- Este cálculo se realizó con las cuatro corridas, la concentración final del evaporado se obtuvo del resultado de análisis de cromatografía de gases, la masa del evaporado del cuadro 13, la concentración inicial del cuadro 27 y la masa inicial de la evaporación del cuadro 28.

**Ecuación 12.** *Propagación de error para las multiplicaciones y divisiones*

$$\frac{S_y}{y} = \sqrt{\left(\frac{S_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{S_c}{c}\right)^2 \dots}$$

Donde:

$S_y$  = Incertidumbre del resultado (multiplicación/división)

y = Valor del resultado del cálculo

a, b, c... = Valor de cada medida

$S_{a,b,c...}$  = Incertidumbre de cada medida a, b, c, etc.

(Skoog, et. al. 2015)

**Cálculo 13.** *Propagación de error para el rendimiento del proceso de filtración al vacío*

$$S_y = \left( \sqrt{\left(\frac{0.1}{428.8}\right)^2 + \left(\frac{0.1}{463.5}\right)^2} \right) * 92.51 = 0.03$$

- Esta incertidumbre está realizada para el cálculo 3, se realizó el mismo procedimiento para todos los cálculos donde aplique la ecuación.

**Ecuación 13.** *Propagación de error para sumas y restas*

$$S_y = S_a + S_b + S_c \dots$$

Donde:

$S_y$  = Incertidumbre resultante

$S_{a,b,c,\dots}$  = Incertidumbre de cada valor a, b, c...

(Skoog, et. al. 2015)

**Cálculo 14.** *Propagación de error para la desviación estándar del proceso de filtración al vacío.*

$$S_y = 0.1 + 0.1 = 0.2$$

- Esta incertidumbre está realizada para el cálculo 6, se realizó el mismo procedimiento para todos los cálculos donde aplique la ecuación.

**Ecuación 14.** *Conversión de grados Celsius a Kelvin*

$$^{\circ}K = ^{\circ}C + 273.15$$

Donde:

$^{\circ}K$ : Temperatura en grados Kelvin

$^{\circ}C$ : Temperatura en grados Celsius

**Cálculo 15.** *Temperatura del cloruro de metileno al momento de comenzar con la evaporación*

$$^{\circ}K = 25 + 273.15$$

$$^{\circ}K = 298.15$$

- En este cálculo se puede observar la temperatura a la cual se encontraba el cloruro de metileno en grados Kelvin al momento de iniciar con la evaporación, se realizó el mismo procedimiento para determinar la temperatura final.

**Ecuación 15.** *Calor específico de sustancia líquidas a determinada temperatura*

$$C_p = C_1 + C_2T + C_3T^2 + C_4T^3$$

**Cálculo 16.** *Determinación del calor específico del cloruro de metileno en un rango de temperatura de 25°C a 40°C en J/Kmol*

$$C_p = \int_{25}^{40} C_1 + C_2T + C_3T^2 + C_4T^3 \, dT$$

$$C_p = \int_{25}^{40} C_1 \, dT + \int_{25}^{40} C_2T \, dT + \int_{25}^{40} C_3T^2 \, dT + \int_{25}^{40} C_4T^3 \, dT$$

$$C_p = C_1T \Big|_{25}^{40} + C_2 \frac{T^2}{2} \Big|_{25}^{40} + C_3 \frac{T^3}{3} \Big|_{25}^{40} + C_4 \frac{T^4}{4} \Big|_{25}^{40}$$

$$C_p = \frac{148450J}{Kmol * K} + \frac{(-7080.86)J}{Kmol * K} + \frac{3.48J}{Kmol * K} + \frac{0J}{Kmol * K}$$

$$C_p = 1477442.62 \frac{J}{Kmol * K}$$

(Perry, R. H., y Green, D. W. 2018)

- Este cálculo fue realizado para poder conocer el calor específico del cloruro de metileno en un rango de temperatura de 25°C a 40°C, los datos fueron tomados de la tabla 18.

**Cálculo 17.** *Determinación del calor específico del cloruro de metileno en un rango de temperatura de 25°C a 40°C en KJ/Kg\*K*

**Ecuación 16.** Conversión de calor específico de  $J/Kmol \cdot K$  a  $KJ/Kg \cdot K$

$$C_p = 1477442.62 \frac{J}{Kmol \cdot K} \left( \frac{1 KJ}{1000 J} \right) \left( \frac{1 Kmol CH_2Cl_2}{84.93 Kg CH_2Cl_2} \right)$$
$$C_p = 17.395 \frac{KJ}{Kg \cdot K}$$

- Este cálculo fue realizado para encontrar el  $C_p$  en  $KJ/Kg$ , la masa molar fue tomada del cuadro 19.

**Ecuación 17.** Determinación de  $T_r$

$$T_r = \frac{T}{T_c}$$

Donde:

$T_r$  = temperatura reducida

$T_r$  = temperatura de la muestra

$T_c$  = temperatura crítica

(Perry, R. H., y Green, D. W. 2018)

**Cálculo 18.** Determinación de  $T_r$  para encontrar el calor latente del cloruro de metileno a  $40^\circ C$

$$T_r = \frac{313.15^\circ K}{510^\circ K}$$

$$T_r = 0.61402$$

- Este cálculo fue realizado para encontrar el  $T_r$  del cloruro de metileno a  $40^\circ C$ , el valor de  $T$  fue tomado de la tabla 30 y el valor de  $T_c$  fue tomado de la tabla 19.

Ecuación 18: Determinación de calor latente de fase líquida a gaseosa.

$$\Delta H_V = C_1(1 - T_r)^{C_2 + C_3 T_r + C_4 T_r^2}$$

**Cálculo 19.** *Determinación del calor latente del cloruro de metileno a 40°C*

$$\Delta H_V = 4.8739 * 10^{-7} (1 - 0.61402)^{0.9583 + (-0.79374)(0.61402) + (0.28069)(0.61402)}$$

$$\Delta H_V = 2.8146 * 10^{-7} \text{ J/Kmol}$$

- Este cálculo fue realizado para encontrar el calor latente del cloruro de metileno a 40°C, los datos utilizados vienen de la tabla 19.

**Cálculo 20.** *Cantidad de cloruro de metileno que usan para limpiar el equipo de elaboración de esponjas al mes*

$$\text{Cantidad de } CH_2Cl_2 \text{ al mes} = \frac{40 \text{ Kg}}{\text{limpiada}} \left( \frac{3 \text{ limpieadas}}{\text{día}} \right) \left( \frac{5 \text{ días}}{\text{semana}} \right) \left( \frac{4 \text{ semanas}}{\text{mes}} \right)$$

$$\text{Cantidad de } CH_2Cl_2 \text{ al mes} = 2400 \text{ Kg/mes}$$

- En este cálculo se puede observar la cantidad en kilogramos que se utiliza al mes para poder limpiar el equipo de elaboración de esponjas.

**Cálculo 21.** *Costo de la compra de cloruro de metileno para limpiar el equipo de elaboración de esponjas al mes en dólares*

$$\text{Costo mensual del } CH_2Cl_2 \text{ en dolares} = \frac{2400 \text{ Kg}}{\text{mes}} \left( \frac{1.05 \$}{\text{Kg}} \right)$$

$$\text{Costo mensual del } CH_2Cl_2 \text{ en dolares} = 2520 \frac{\$}{\text{mes}}$$

**Cálculo 22.** *Costo de la compra de cloruro de metileno para limpiar el equipo de elaboración de esponjas al mes de quetzales*

$$\text{Costo mensual del } CH_2Cl_2 \text{ en quetzales} = \frac{2520 \$}{\text{mes}} \left( \frac{7.73 \text{ Q}}{\$} \right)$$

$$\text{Costo mensual del } CH_2Cl_2 \text{ en quetzales} = 19479.6 \frac{Q}{\text{mes}}$$

**Cálculo 23.** Costo de la eliminación del cloruro de metileno al mes

$$\text{Costo de la eliminación del } CH_2Cl_2 = \frac{2400 \text{ Kg}}{\text{mes}} \left( \frac{5.1 Q}{\text{Kg}} \right)$$

$$\text{Costo de la eliminación del } CH_2Cl_2 = 12240 \frac{Q}{\text{mes}}$$

**Cálculo 24.** Costo mensual de la compra de cloruro de metileno para limpiar el equipo de elaboración de esponjas y costo de su eliminación

$$\text{Costo total} = 19479.6 \frac{Q}{\text{mes}} + 12240 \frac{Q}{\text{mes}}$$

$$\text{Costo total} = 31719.6 \frac{Q}{\text{mes}}$$

**Cálculo 25.** Cantidad de cloruro de metileno puro que hay en lo que se compra mensualmente

$$\text{Cantidad de } CH_2Cl_2 \text{ puro} = 2400 \frac{\text{Kg}}{\text{mes}} * 0.9764$$

$$\text{Cantidad de } CH_2Cl_2 \text{ puro} = 2343.26 \frac{\text{Kg}}{\text{mes}}$$

- Este cálculo se realizó para poder determinar de la cantidad de cloruro de metileno que se compra al mes es cien por ciento cloruro de metileno, la concentración utilizada fue determinada con un cromatógrafo de gases de la marca Agilent Technologies serie 6850

**Cálculo 26.** *Energía necesaria para llevar el cloruro de metileno usado al mes en la limpieza del equipo de elaboración de esponjas de 25°C 40°C*

$$\text{Energía necesaria} = 2343.26 \frac{\text{Kg}}{\text{mes}} * \left( \frac{17.3955 \text{ KJ}}{\text{Kg}} \right) * (38.8 - 25)^\circ\text{C}$$

$$\text{Energía necesaria} = 562,525.91 \frac{\text{KJ}}{\text{mes}}$$

**Cálculo 27.** *Energía necesaria para cambiar de fase líquida a gaseosa el cloruro de metileno usado al mes para la limpieza del equipo de elaboración de esponjas*

$$\text{Energía necesaria} = 2343.26 \frac{\text{Kg}}{\text{mes}} * \left( \frac{3.314 * 10^{-12} \text{ KJ}}{\text{Kg}} \right)$$

$$\text{Energía necesaria} = 7.7659 * 10^{-9} \frac{\text{KJ}}{\text{mes}}$$

**Cálculo 28.** *Sumatorio de la energía necesaria para poder evaporar el cloruro de metileno utilizado como limpiador en los equipos de elaboración de esponjas*

$$\text{Energía total} = 562,525.91 \frac{\text{KJ}}{\text{mes}} + 7.7659 * 10^{-9} \frac{\text{KJ}}{\text{mes}}$$

$$\text{Energía total} = 562,525.91 \frac{\text{KJ}}{\text{mes}}$$

**Cálculo 29.** *Precio de la luz en KJ dada por EEGSA*

$$\text{Precio de la luz} = \frac{1.44 \text{ Q}}{\text{Kwh}} * \left( \frac{1 \text{ Kwh}}{3600 \text{ KJ}} \right)$$

$$\text{Precio de la luz} = 0.004 \frac{\text{Q}}{\text{KJ}}$$

**Cálculo 30.** Costo de operación para el proceso de evaporación en un caso ideal

$$\text{Costo de operación} = 562,525.91 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol}} * \left( \frac{0.004 Q}{\text{KJ}} \right)$$

$$\text{Costo de operación} = 163.06 \frac{Q}{\text{mes}}$$

**Cálculo 31.** Costo de operación para el proceso de evaporación en el peor de los casos

$$\text{Costo de operación} = 163.06 \frac{Q}{\text{mes}} \left( \frac{1}{0.75} \right)$$

$$\text{Costo de operación} = 217.41 \frac{Q}{\text{mes}}$$

- Con este cálculo se determinó el costo de operación en el peor de los casos, esto tomando en cuenta la eficiencia más baja del evaporador, se realizó el mismo procedimiento para el mejor de los casos.

**Cálculo 32.** Ahorro mensual que se tendría si se realiza una recuperación por evaporación en el peor de los casos

$$\text{Ahorro} = 31719.6 \frac{Q}{\text{mes}} - 217.41 \frac{Q}{\text{mes}}$$

$$\text{Ahorro} = 34502.19 \frac{Q}{\text{mes}}$$

- Este cálculo muestra la cantidad de quetzales que se ahorrarían al mes si se realiza el proceso de recuperación por evaporación, se realizó con el costo de operación en el peor de los casos y se realizó el mismo procedimiento para el costo de operación en el peor de los casos.

**Ecuación 19:** *Diferencia de temperatura media logarítmica*

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

Donde:

$\Delta T_1$  = es la diferencia de temperatura en un extremo del intercambiador.

$\Delta T_2$  = es la diferencia de temperatura en el otro extremo del intercambiador.

**Cálculo 33.** *Diferencia de temperatura media logarítmica*

$$\Delta T_{ml} = \frac{(110 - 38.8)^\circ\text{C} - (110 - 25)^\circ\text{C}}{\ln\left(\frac{(110 - 38.8)^\circ\text{C}}{(110 - 25)^\circ\text{C}}\right)}$$

$$\Delta T_{ml} = 77.89^\circ\text{C}$$

- Se propone una temperatura de 110°C debido a que es la temperatura de un vapor saturado a una presión de 20.77 psig según Perry, C.E.

**Ecuación 20.** *Ley Fundamental de la Transferencia de Calor*

$$Q = U * A * \Delta T_{ml}$$

Donde:

Q = tasa de transferencia de calor.

U = coeficiente global de transferencia de calor

A = área de transferencia de calor.

$\Delta T_{ml}$  = Diferencia de Temperatura Media Logarítmica

**Cálculo 34.** *Determinación de área necesaria del intercambiador de calor para el evaporador*

$$A = \frac{140631.48 \frac{KJ}{h}}{2044.15 \frac{KJ}{h * m^2 * K} * 77.89K}$$

$$A = 0.8831 m^2$$

- Se utilizan  $2044.15 \frac{KJ}{h * m^2 * K}$  debido a que, según Ludwig, E.E. es el coeficiente global de transferencia de calor para este compuesto.

**Ecuación 21.** *Prueba t de una muestra*

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

Donde:

$t$  = valor de la prueba t

$\bar{x}$  = media de la muestra

$\mu$  = valor de referencia

$s$  = desviación estándar de la media de la muestra

$n$  = número de casos evaluados

(Anderson, D.R. *et. al.* 2008)

**Cálculo 35.** *Prueba t de una muestra para la concentración del cloruro de metileno recuperado en relación con la concentración de cloruro de metileno de grado industrial sin utilizar*

$H_0$  = la media de la concentración del cloruro de metileno recuperado es igual a la media del cloruro de metileno de grado industrial sin utilizar.

$H_1$  = la media de la concentración del cloruro de metileno recuperado no es igual a la media del cloruro de metileno de grado industrial sin utilizar.

$$t = \frac{99.47 - 97.64}{\frac{1.21}{\sqrt{4}}}$$

$$t = 3.025$$

- El valor de la media de la muestra es la concentración de cloruro de metileno recuperado obtenida por el cromatógrafo de gases, el valor de referencia es la concentración del cloruro de metileno de grado industrial sin utilizar obtenido por el cromatógrafo de gases, la desviación estándar es la desviación estándar del rendimiento de cada corrida y el número de casos evaluados es el número de corridas realizadas.

**Ecuación 22.** *Determinación de grados de libertad*

$$df = n - 1$$

Donde:

$df$  = grados de libertad

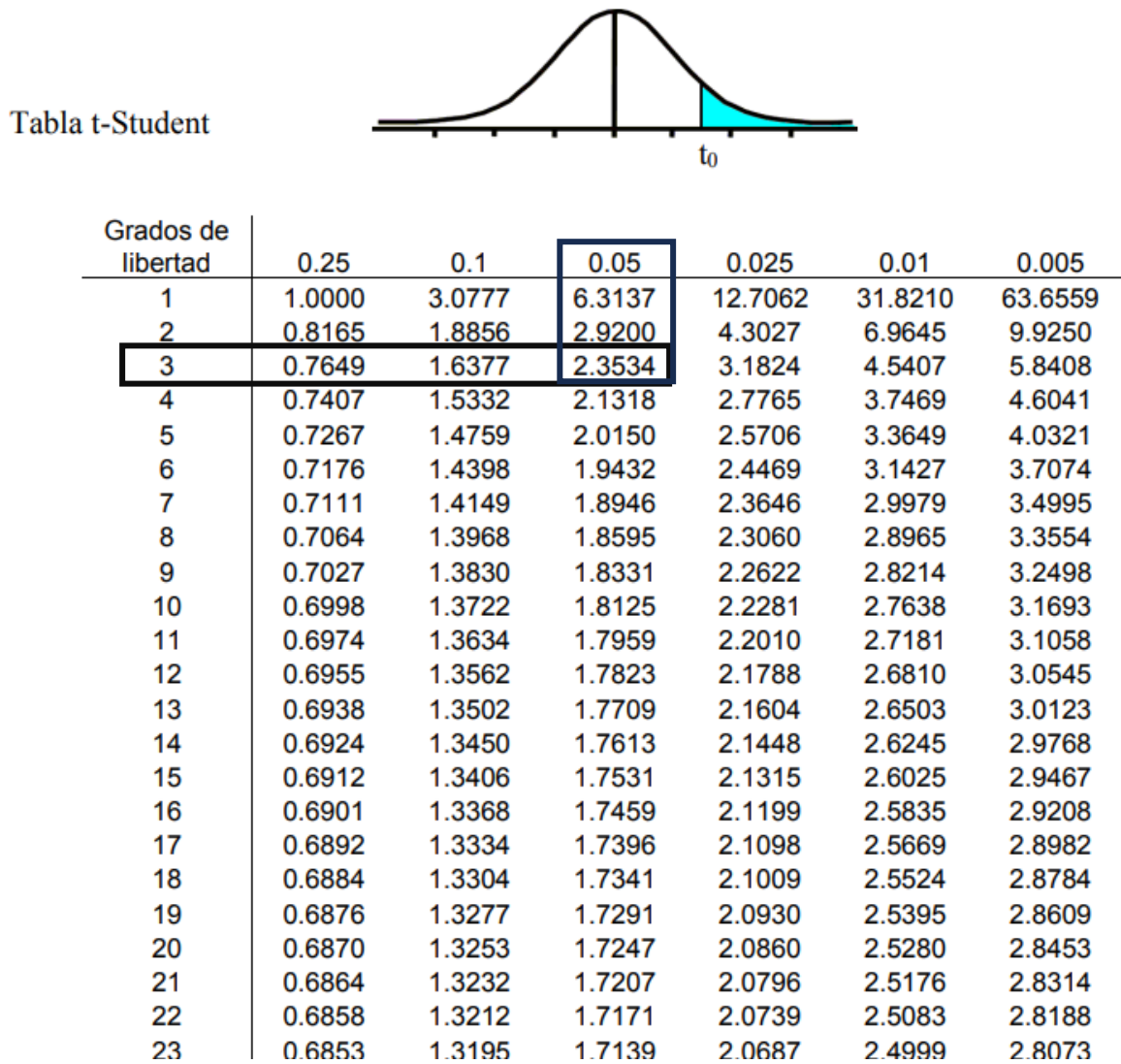
$n$  = número de casos evaluados

(Anderson, D.R. *et. al.* 2008)

**Cálculo 36.** *Determinación de grados de libertad para evaluar si la hipótesis nula se rechaza o se acepta*

$$df = 4 - 1 = 3$$

**Figura 18:** *Tabla t-Student*



- La hipótesis nula se rechaza debido a que el valor de t obtenido es mayor al indicado por la tabla de los valores de t-student con un porcentaje de significancia de 95%.

(Anderson, D.R. *et. al.* 2008)

**Ecuación 23. Presión absoluta**

$$psia = psig + psim$$

Donde:

psia = presión absoluta en libras por pulgada cuadrada

psig = presión manométrica en libras por pulgada cuadrada

patm = presión atmosférica, que al nivel del mar es aproximadamente 14.7 psia

**Cálculo 37. Determinación de presión ejercida en el proceso de filtración al vacío**

$$psia = -19 psig + 14.7psim$$

$$psia = -4.3$$

- Como se puede observar en la figura 34, la presión manométrica para la operación unitaria de filtración al vacío es de -19 psig.

**D. Cromatografía de gases**

**Figura 19. Cloruro de metileno sin usar**

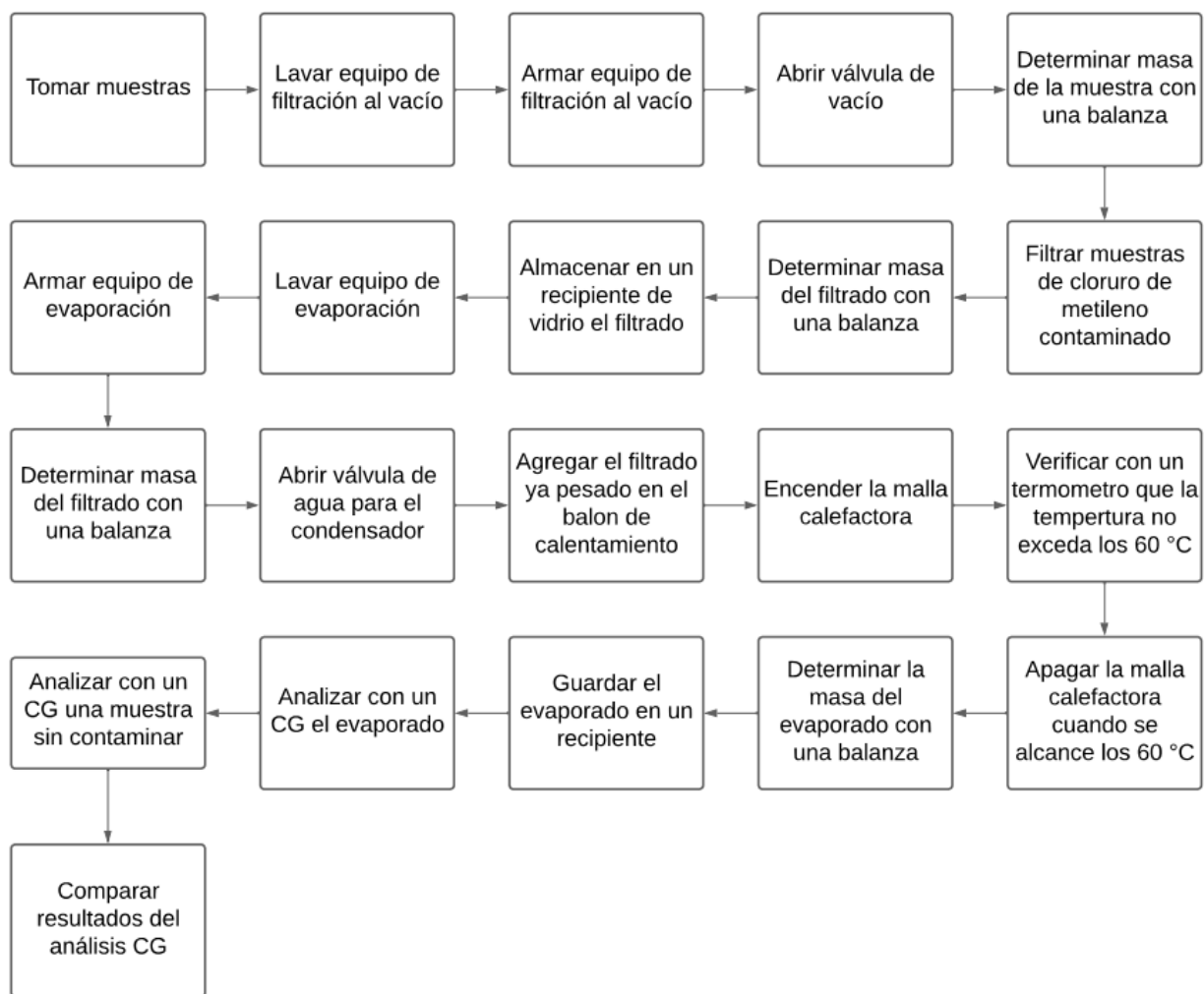
Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	1.461	97.64	C:\Database\NIST05a.L			
			Methylene Chloride	1499	000075-09-2	72
			Methylene Chloride	1497	000075-09-2	59
			Methylene Chloride	1500	000075-09-2	53
2	28.794	2.36	C:\Database\NIST05a.L			
			Bis(2-ethylhexyl) phthalate	168501	000117-81-7	83
			1,2-Benzenedicarboxylic acid, isod	175200	001330-96-7	64
			ecyl octyl ester			
			Phthalic acid, octyl 2-pentyl este	151811	1000315-48-0	64

**Figura 20. Cloruro de metileno recuperado**

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	1.161	0.09	C:\Database\NIST05a.L			
			Ammonia	6	007664-41-7	2
			Water	7	007732-18-5	1
2	2.780	99.42	C:\Database\NIST05a.L			
			Methylene Chloride	1497	000075-09-2	95
			Methylene Chloride	1499	000075-09-2	91
			Methylene Chloride	1498	000075-09-2	91
3	4.254	0.05	C:\Database\NIST05a.L			
			Methylene Chloride	1498	000075-09-2	64
			Methylene Chloride	1499	000075-09-2	62
			Methylene Chloride	1500	000075-09-2	59
4	5.864	0.05	C:\Database\NIST05a.L			
			Piperazine	1586	000110-85-0	7
			Benzaldehyde, 2-nitro-, diaminomet	62327	102632-31-5	7
			hylidenhydrazone			
			1,2,5-Oxadiazol-3-carboxamide, 4,4	115014	1000294-17-4	4
			'-azobis-, 2,2'-dioxide			
5	6.674	0.06	C:\Database\NIST05a.L			
			Piperazine	1586	000110-85-0	4
			Piperazine	1588	000110-85-0	4
			4-Aminobutyramide, N-methyl-N-[4-(	177009	1000124-10-5	4
			1-pyrrolidinyl)-2-butynyl]-N',N'-b			
			is(trifluoroacetyl)-			
6	15.025	0.06	C:\Database\NIST05a.L			
			Benzaldehyde, 2-nitro-, diaminomet	62327	102632-31-5	4
			hylidenhydrazone			
			Nitrous Oxide	83	010024-97-2	4
			Nitrous Oxide	82	010024-97-2	4
7	27.948	0.13	C:\Database\NIST05a.L			
			Acetamide, N-[4-(trimethylsilyl)ph	62063	017983-71-0	43
			enyl]-			
			Tetrasiloxane, decamethyl-	130465	000141-62-8	38
			Silane, 1,4-phenylenebis(trimethyl	72522	013183-70-5	38
8	28.198	0.14	C:\Database\NIST05a.L			
			Silane, 1,4-phenylenebis(trimethyl	72522	013183-70-5	47
			Trimethyl(4-tert.-butylphenoxy)sil	72670	025237-79-0	43
			ane			
			Trimethyl[4-(1-methyl-1-methoxyeth	83637	1000283-54-8	38
			yl)phenoxy]silane			

## E. Diagrama de bloques

Figura 21. Diagrama de bloques del procedimiento



## F. Datos de placas del equipo utilizado

**Cuadro 38.** *Datos de placa de la malla calefactora*

Malla Calefactora	
Marca	Electrothermal
Modelo	EMV1000/CEX
Serie	M371190
Poder	5 V
Amperaje	15 A

**Cuadro 39.** *Datos de placa de la bomba de vacío*

Bomba de vacío		
Marca	Busch Inc.	
Tipo	RC0063.E506.1001	
Desplazamiento	41	CFM
Vacío	15	Torr

**Cuadro 40.** *Datos de placa del regulador de la bomba de vacío*

Regulador de la bomba de vacío			
Marca	Square D Company		
Clase	9016		
Tipo	GVG-1		
Serie	B		
2-Pole H.P. rangos			
Volts	1-HP	2-3 HP	DC
115	2	3	1
320	3	5	1
460/575	5	5	-

32	-	-	1-feb
----	---	---	-------

**Cuadro 41.** *Datos de placa de la balanza*

Balanza	
Marca	Ohaus
Modelo	V31XH2
Serie	B652517672
Poder	9V
Capacidad máxima	2000 g

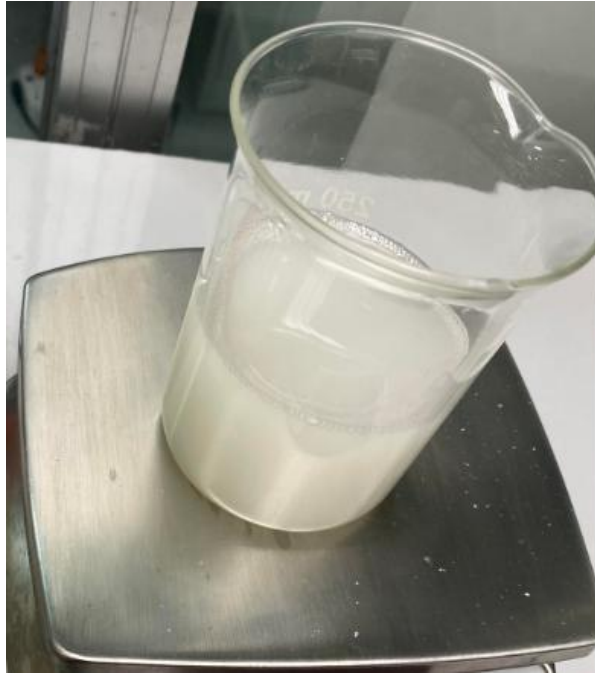
## G. Figuras de experimentación

**Figura 22.** *Cloruro de metileno adherido al recipiente de filtrado al vacío*



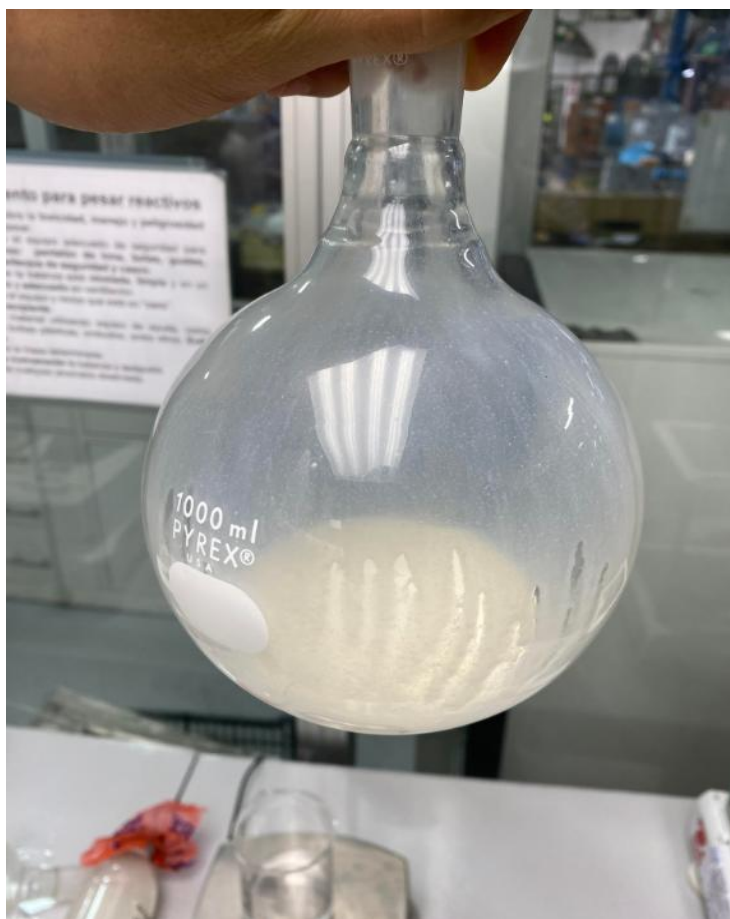
- En esta figura se puede observar el cloruro de metileno contaminado que se quedó adherido a las paredes del recipiente de filtración al vacío, esta fotografía fue tomada por Douglas Rennato Jui en el laboratorio de operación unitarias de la universidad del Valle de Guatemala.

**Figura 23.** *Cloruro de metileno contaminado con residuos del proceso de elaboración de esponjas antes de comenzar con el proceso de evaporación*



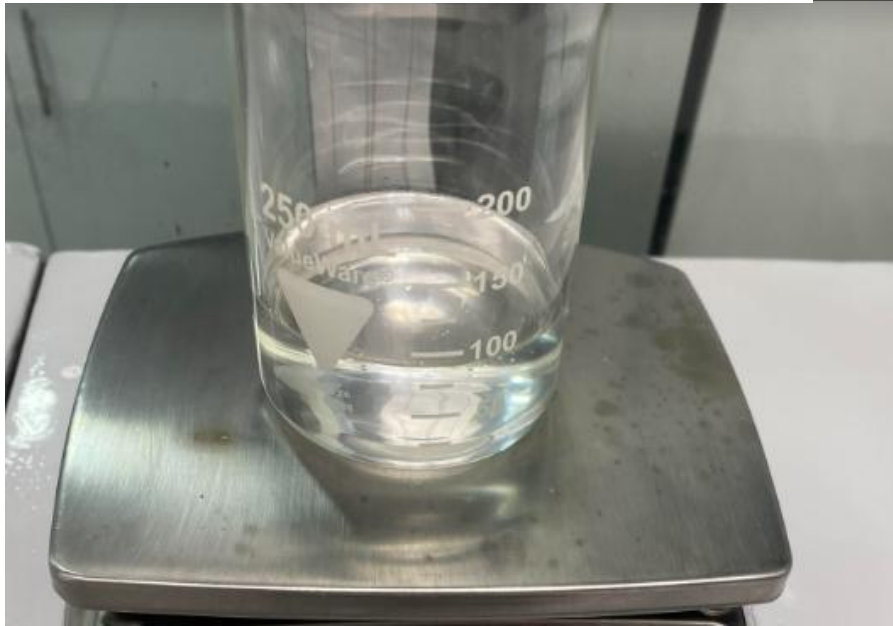
- En esta figura se puede observar el cloruro de metileno contaminado antes de comenzar con el proceso de evaporación, esta fotografía fue tomada por Douglas Rennato Jui en el laboratorio de operación unitarias de la universidad del Valle de Guatemala.

**Figura 24.** *Residuo del proceso de evaporación del cloruro de metileno contaminado con residuos del proceso de elaboración de esponjas*



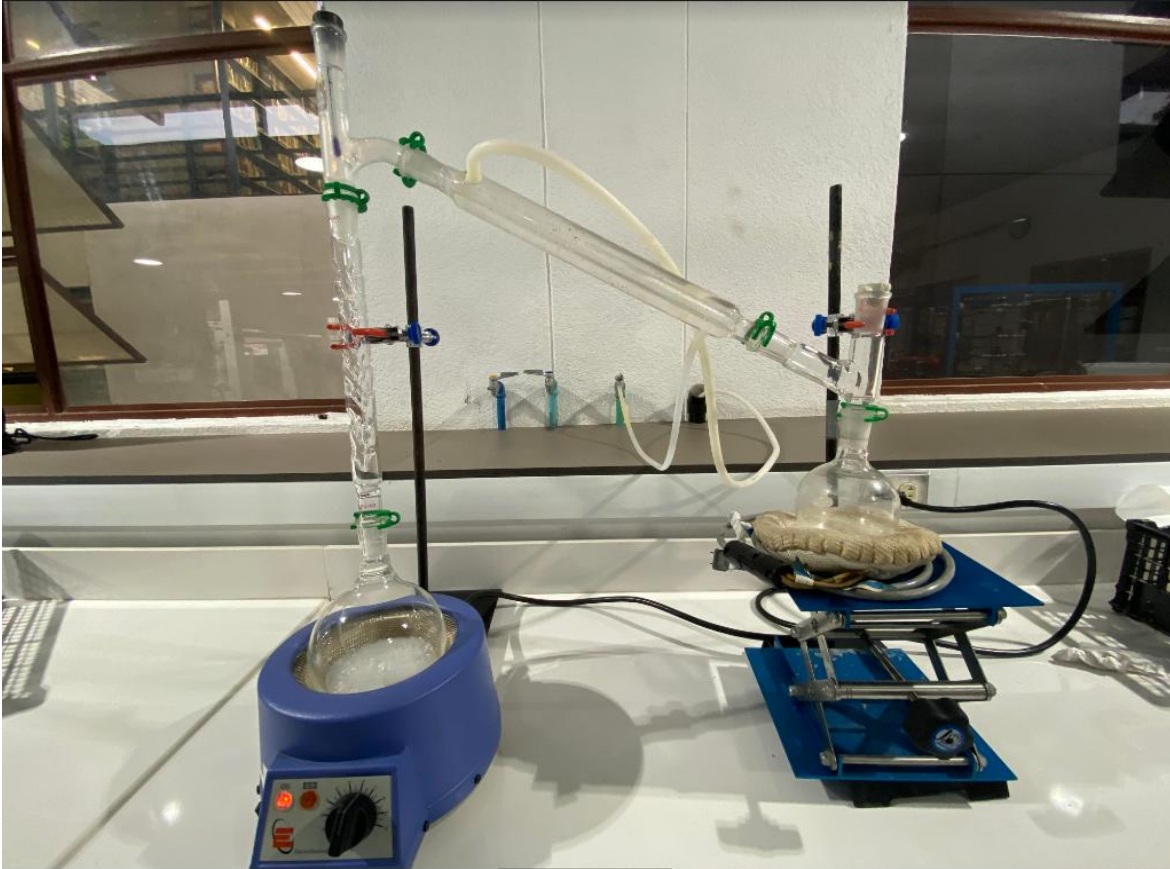
- En esta figura se puede observar lo que no se evaporó cuando se realizó el proceso evaporación, esta fotografía fue tomada por Douglas Rennato Jui en el laboratorio de operación unitarias de la universidad del Valle de Guatemala.

**Figura 25.** *Cloruro de metileno recuperado luego del a evaporación*



- En esta figura se puede observar el evaporado luego del proceso de evaporación, se puede observar un color más limpio y puro, esta fotografía fue tomada por Douglas Rennato Jui en el laboratorio de operación unitarias de la universidad del Valle de Guatemala.

**Figura 26.** *Sistema de evaporación*



- En esta figura se puede observar el sistema utilizado para realizar la evaporación, esta fotografía fue tomada por Douglas Rennato Jui en el laboratorio de operación unitarias de la universidad del Valle de Guatemala.

**Figura 27.** *Columna Vigreux*



(Letslab, Global Distributor of Laboratory Equipment, 2024)

- En esta figura se puede observar la columna utilizada en el proceso de evaporación.

**Figura 28.** *Cromatógrafo de gases de gases marca Aligent Technologies Serie 6850*



- En esta figura se puede observar el cromatógrafo de gases utilizado para realizar el análisis del cloruro de metileno, la marca es Agilent Technologies Serie 6850, esta fotografía fue tomada por Douglas Rennato Jui en laboratorio de análisis instrumental de la universidad del Valle de Guatemala.

**Figura 29.** *Bomba de vacío de la universidad del Valle de Guatemala*



- En esta figura se puede observar la bomba de vacío, esta fotografía fue tomada por Douglas Rennato Jui en el laboratorio de operaciones unitarias de la universidad del Valle de Guatemala.

**Figura 30.** Balanza analítica utilizada en el proceso de investigación



- En esta figura se puede observar la balanza analítica utilizada para medir las masas necesarias durante la experimentación, esta fotografía fue tomada por Douglas Rennato Jui en el laboratorio de operaciones unitarias de la universidad del Valle de Guatemala.

**Figura 31.** *Malla calefactora utilizada en el proceso de evaporación*



- En esta figura se puede observar la malla calefactora utilizada durante el proceso de evaporación, esta fotografía fue tomada por Douglas Rennato Jui en el laboratorio de operaciones unitarias de la universidad del Valle de Guatemala.

**Figura 32.** Datos de placa de la bomba de vacío



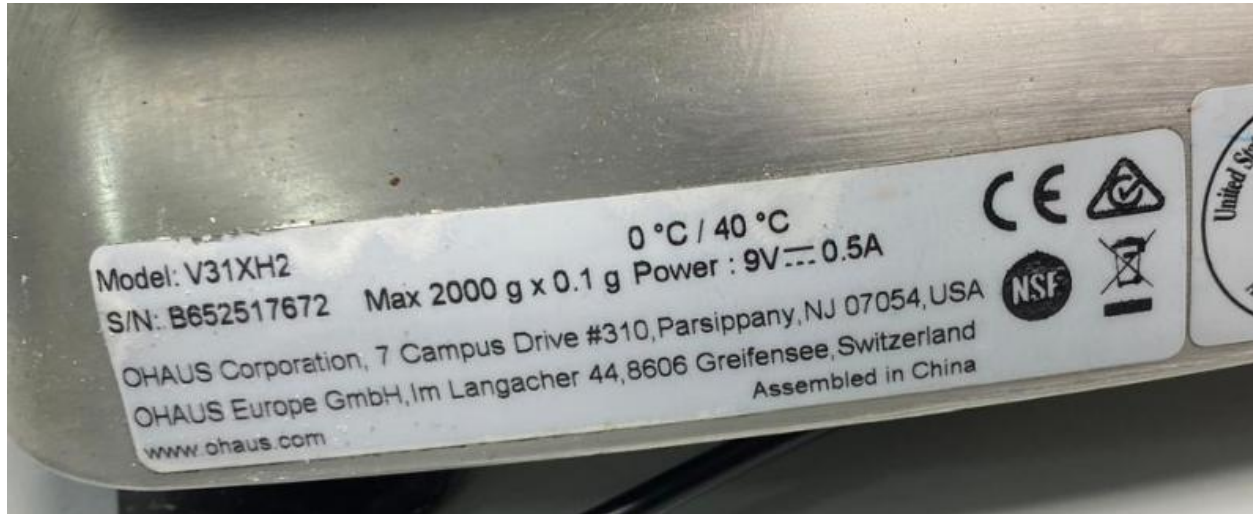
- En esta figura se puede observar los datos de placa de la bomba de vacío utilizada para el proceso de filtración al vacío, esta fotografía fue tomada por Douglas Rennato Jui en el laboratorio de operaciones unitarias de la universidad del Valle de Guatemala.

**Figura 33.** Datos de placa del regulador de la bomba de vacío



- En esta figura se puede observar los datos de placa del regulador de la bomba de vacío utilizada para el proceso de filtración al vacío, esta fotografía fue tomada por Douglas Rennato Jui en el laboratorio de operaciones unitarias de la universidad del Valle de Guatemala.

**Figura 34.** Datos de placa de la balanza



- En esta figura se puede observar los datos de placa de la balanza utilizada para determinar las masas del proceso de e filtración al vacío y de evaporación, esta fotografía fue tomada por Douglas Rennato Jui en el laboratorio de operaciones unitarias de la universidad del Valle de Guatemala.

**Figura 35.** *Presión de bomba de vacío de la Universidad del Valle de Guatemala*



- En esta figura se puede la presión que ejerce la bomba de vacío utilizada para el proceso de filtración al vacío, esta fotografía fue tomada por Douglas Rennato Jui en el laboratorio de operaciones unitarias de la universidad del Valle de Guatemala.

## H. Glosario

**Aditivos:** Sustancias añadidas a un producto o material para mejorar o modificar sus propiedades. En la fabricación de espumas de poliuretano, pueden incluir bactericidas, partículas de cobre, antihongos y agentes ignífugos. (Ruparelia J. P., 2015).

**Agente soplante:** Sustancia que genera gas durante una reacción química, creando burbujas en un material. El agua, al reaccionar con el TDI, actúa como agente soplante en la formación de espumas de poliuretano. (Ruparelia J. P., 2015).

**Amina:** Trietilendiamina al 33% en glicol de polipropileno, utilizada como catalizador en la reacción entre el tolueno diisocianato (TDI) y el agua en la formación de espumas de poliuretano. (Ruparelia J. P., 2015).

**Catalizador:** Sustancia que aumenta la velocidad de una reacción química sin consumirse en el proceso. Ejemplos en el documento son la amina y el octato de estaño. (Ruparelia J. P., 2015)

**Celdillas:** Estructuras celulares formadas dentro de las espumas de poliuretano, esenciales para la creación de una espuma ligera y resistente. (Ruparelia J. P., 2015).

**Cloruro de metileno:** Líquido incoloro utilizado como disolvente en la industria química, con aplicaciones en la extracción de alcaloides, manufactura de plásticos, limpieza de superficies metálicas y producción de espumas de poliuretano. (Bos P. M. J. et al., 2006).

**CO<sub>2</sub>:** Dióxido de carbono, gas liberado en la reacción entre el TDI y el agua, que ayuda a formar la estructura celular de la espuma. (Ruparelia J. P., 2015).

**Colorantes:** Tintes solubles en polioli que se utilizan para dar color a las espumas sin alterar su estructura química. (Ruparelia J. P., 2015).

**Curado:** Proceso en el cual un material, como la espuma de poliuretano, adquiere su consistencia final a través de una reacción química o un cambio físico, como la evaporación de un solvente. (Ruparelia J. P., 2015).

**Evaporación:** Proceso de separación de una solución en la que se separan un soluto no volátil y un solvente volátil mediante calor, permitiendo que el solvente se volatilice. (Morales Chávez, 2012).

**Espumas de poliuretano:** Material ligero y duradero utilizado en colchones, muebles y como aislante térmico. Se forma por la reacción de polioliol y tolueno diisocianato (TDI) con agua. (Ruparelia J. P., 2015).

**Filtro de tambor rotatorio:** Dispositivo que utiliza un tambor giratorio sumergido en una suspensión para separar sólidos de líquidos mediante succión. (Juárez Franco, 2013).

**Filtro prensa:** Dispositivo utilizado para la separación sólido-líquido. Los filtros prensa de placas y marcos son ampliamente utilizados en la industria química para obtener tortas más secas y densas. (Juárez Franco, 2013).

**Filtración al vacío:** Método de filtración donde se utiliza vacío para acelerar el paso del líquido a través de un filtro. Es más eficiente que la filtración por gravedad para separar sólidos suspendidos. (Angurrell I., 2016).

**Filtración por gravedad:** Método en el que la fuerza de la gravedad permite que el líquido pase a través de un filtro, separando los sólidos en suspensión. (Angurrell I., 2016).

**Gelificación:** Proceso en el que un líquido se transforma en un gel. En la fabricación de espumas de poliuretano, la gelificación ocurre durante la reacción entre el polioliol y el TDI. (Ruparelia J. P., 2015).

**Licencia de disposición final controlada:** Permiso emitido por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) para la eliminación de productos peligrosos. (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2016).

**Octato de estaño:** Catalizador que acelera la reacción entre el polioliol y el TDI durante la gelificación de la espuma de poliuretano. (Ruparelia J. P., 2015).

**Pilol:** Alcohol poliéter de cadena larga que reacciona con el tolueno diisocianato (TDI) para formar la espuma de poliuretano. (Ruparelia J. P., 2015).

**Reactores:** Equipos donde se llevan a cabo reacciones químicas, como en la producción de espumas de poliuretano. Pueden ser continuos o por lotes. (Ruparelia J. P., 2015).

**Residuos peligrosos:** Materiales que, debido a su composición química, pueden ser dañinos para el medio ambiente o la salud. El documento menciona regulaciones específicas para su manejo en Guatemala. (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2016).

**Silicona (Polidimetilsiloxano):** Surfactante no hidrolizable que reduce la tensión superficial del polioliol, mejorando la capacidad de reacción y la resistencia de las celdas en la espuma de poliuretano. (Ruparelia J. P., 2015).

**Surfactante:** Compuesto que reduce la tensión superficial entre dos líquidos, mejorando la mezcla de componentes. La silicona actúa como surfactante en la producción de espumas. (Ruparelia J. P., 2015).

**Torta de filtración:** Capa de sólidos que se acumula sobre un filtro durante la separación sólido-líquido. (Juárez Franco, 2013).

**Tolueno diisocianato (TDI):** Compuesto reactivo que se combina con el polioliol para formar espumas de poliuretano. Posee grupos CN que reaccionan con el polioliol. (Ruparelia J. P., 2015).

**Volatilidad:** Propiedad de una sustancia que indica su tendencia a evaporarse a una temperatura determinada. El cloruro de metileno es altamente volátil, lo que lo hace útil en la extracción de compuestos y limpieza de superficies. (Bos P. M. J. et al., 2006).

# I. Hoja de seguridad del cloruro de metileno

## HOJA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO


### 1- IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y LA COMPAÑIA

<b>Nombre Comercial</b>	<b>CLORURO DE METILENO</b>		
<b>Formula Química</b>	<b>CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub></b>		
<b>Usos</b>	Solvente, eliminadores de pinturas, películas fotográficas especiales, fumigante, desengrasante, mezclas de disolventes para ésteres y éteres de celulosa, recubrimientos de tejidos y curtidos, refrigeración, anestésico local, agente quitamanchas, descerarte, síntesis orgánica, componente de aerosoles, agente de soplado en espumas, extracción farmacéutica y de alimentos.		
<b>Identificación de la compañía</b>	Laboratorios Ladco S.A.		
<b>Números de Teléfonos de Emergencia</b>	Calle 45 N.º 2487 - (1650) San Martín - Buenos Aires		Fax: (54 - 11) 4753-8273
Tel: (54 - 11) 4752-1010 (Rotativas)			

Sinónimos: Dicloruro de metileno; Bicloruro de metileno; diclorometano


### 2-IDENTIFICACION DE LOS PELIGROS

#### Clasificación de la sustancia de acuerdo con el SGA

	Irritaciones cutáneas (Categoría 2),	H315	Toxicidad específica en determinados órganos -exposición única (Categoría 3), Sistema nervioso central,	H336
	Irritación ocular (Categoría 2),	H319	Toxicidad específica en determinados órganos -exposición única (Categoría 3), Sistema respiratorio,	H335
	Carcinogenicidad (Categoría 2),	H351	Toxicidad específica en determinados órganos -exposiciones repetidas (Categoría 2), Hígado, Sangre, Sistema nervioso central,	H373

#### Elementos de la Etiqueta

La sustancia se ha clasificado y etiquetado de acuerdo al SGA

Pictogramas de peligro	Palabra de advertencia:	Indicaciones de peligro	
	ATENCIÓN	H315 Provoca irritación cutánea. H319 Provoca irritación ocular grave. H335 Puede irritar las vías respiratorias.	H336 Puede provocar somnolencia o vértigo. H351 Se sospecha que provoca cáncer. H373 Puede perjudicar a determinados órganos (Hígado, Sangre, Sistema nervioso central) por exposición prolongada o repetida.

#### Consejos de prudencia

P201 Procurarse las instrucciones antes del uso  
P202 No manipular antes de haber leído y comprendido todas las precauciones de seguridad  
P261 No respirar los vapores  
P271 Utilizar sólo al aire libre o en un lugar bien ventilado  
P281 Utilizar el equipo de protección individual obligatorio  
P308+P313 En caso de exposición demostrada o supuesta: consultar a un médico  
P305+P351+P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.  
P304+P340 EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración  
P403+P233 Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener el recipiente herméticamente cerrado.

### 3- COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

Sustancia/ Mezcla: <b>Sustancia</b>	Nombre químico <b>CLORURO DE METILENO</b>	Número DOT/ ONU 1593	Número de Riesgo 60	Número de Intervención 160
Numero de Chemical Abstract Service (C.A.S.) 75-09-2	DOT Requerimiento Del rotulo de peligrosidad <b>TOXICO</b>	N.C.M <b>2903.12.00</b>		GTIN <b>88948691167719</b>

### 4-MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

<b>Contacto con ojos:</b>	Lave inmediatamente los ojos con grandes cantidades de agua durante 15 minutos(mínimo) levantando ocasionalmente los extremos superior e inferior de los párpados, no se frote. Quitar las lentes de contacto, cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Busque atención médica inmediatamente, preferiblemente de un oftalmólogo
---------------------------	---

<b>Contacto con la piel:</b>	Lávese inmediatamente la parte contaminada con agua. Si penetró la ropa, quítese la ropa y lave la piel con abundante agua. Si el contacto fue prolongado o la irritación persiste busque atención médica inmediatamente.
<b>Inhalación:</b>	Retire a la persona del lugar de exposición al aire fresco inmediatamente. De ser necesario proveer a la persona de asistencia respiratoria y RCP. Derivar a centro médico asistencial.
<b>Ingestión:</b>	Si el paciente está totalmente consciente suministre agua o leche. No inducir al vómito, si se presenta inclinar la víctima hacia adelante. Buscar atención médica inmediata a centro de toxicología.
<b>Indicaciones para el medico</b>	Mostrar esta ficha de seguridad al doctor que esté de servicio.

## 5-MEDIDAS PARA COMBATIR INCENDIOS

Peligros específicos de la sustancia:

**Los vapores son más pesados que el aire y pueden expandirse a lo largo del suelo** Posibilidad de formación de vapores peligrosos por incendio en el entorno.

**El fuego puede provocar emanaciones de Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono, Cloruro de Hidrógeno, Fosgeno**

Riesgos inusuales en la extinción total del fuego:

**Refrigerar con agua los tanques, cisternas o recipientes próximos a la fuente de calor o fuego. Los vapores pueden formar mezclas explosivas con el aire. Tener en cuenta la dirección del viento. Evitar que los productos utilizados en la lucha contra incendios pasen a desagües, alcantarillas o cursos de agua.**

## 6-MEDIDAS EN CASO DE DERRAME ACCIDENTAL

**Aislar y cercar el área de derrame. Utilizar Equipos de Protección Respiratoria. Eliminar los posibles puntos de ignición y ventilar la zona. No fumar. Evitar respirar los vapores.**

**Recoger el vertido con materiales absorbentes no combustibles como arcilla, arena o tierra vegetal. Verter el producto y el absorbente en un contenedor adecuado cerrado y etiquetado y disponer según la legislación local.**

**Evitar la contaminación de desagües, aguas superficiales o subterráneas, así como del suelo. En caso de producirse grandes vertidos o si el producto contamina lagos, ríos o alcantarillas, informar a las autoridades competentes, según la legislación local.**

## 7-MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO

**Precauciones para una manipulación segura:**

*No inhalar el vapor. Evitar la exposición prolongada o repetida. Evitar el contacto con los ojos y la piel. Lavar cara y manos al término del trabajo. Trasvasar y manejar el producto solamente en un sistema cerrado o con aspiración.*

*Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice el producto. Abrir los tambores lentamente pues los vapores podrían encontrarse bajo presión. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo.*

**Prevención de incendios y explosiones:**

*No se requieren medidas especiales*

**Condiciones de almacenamiento seguro:**

*Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado. Separado de materiales incompatibles como aluminio, polvo de magnesio, ácido nítrico, etc. Rotular los recipientes adecuadamente y mantenerlos herméticamente cerrados. Los contenedores que se abren deben volverse a cerrar cuidadosamente y mantener en posición vertical para evitar pérdidas. Limitar la cantidad a almacenar. Inspeccionar periódicamente las áreas de almacenamiento para detectar fugas o daños a los contenedores.*

## 8-CONTROLES DE LA EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

Componentes peligrosos (identificación específica)	Límites de Exposición Resolución 295/03	NIOS H Límites De exposición	OSHA Límites de exposición	IDLH Riesgo inmediato a la salud y a la vida	ACGIH Límite de exposición
Cloruro de Metileno <b>1ppm=3.44mg/m<sup>3</sup></b>	CMP: 50 ppm 171.78mg/m <sup>3</sup> CMP-CPT:	<b>REL</b> (10 hs): 50 ppm 171.78 mg/m <sup>3</sup> <b>STEL:</b>	<b>PEL</b> (8 hs): 25 ppm 85.89 mg/m <sup>3</sup> <b>STEL:</b> 125 ppm 257.67 mg/m <sup>3</sup>	2300ppm	<b>TLV:</b> <b>STEL:</b>

Protección Respiratoria: **Utilizar Equipos Autónomos de Protección Respiratoria.**

Ventilación: **Es recomendable la extracción local o sistemas mecánicos generales.**

Guantes de Protección	Protección ocular	Otras protecciones
<b>Neopreno o Nitrilo</b>	<b>Protector facial / anteojos de seguridad</b>	<b>Protección uniforme apropiada</b>

Condiciones de trabajo e higiene: **Siempre lave cuidadosamente sus manos luego de estar en contacto con el producto, nunca coma o beba o fume en áreas vecinas del producto.**

## 9-PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

punto de Ebullición	Gravedad Específica (H <sub>2</sub> O=1)	Punto de Inflamación Flash:
<b>40°C (104°F)</b>	<b>1.325 (20°C)</b>	<b>Ninguno</b>
Presión de Vapor (mmHg)	Peso Molecular:	Clasificación NFPA:
<b>352.53 a 20°C – 15.8 a 22°C</b>	<b>84.94</b>	<b>Clase 2 – Riesgo moderado para la salud</b>

Densidad de Vapor (Aire =1)	punto de Fusión:	Límite de explosión en% de aire en volumen:
<b>2.93 gr/cm<sup>3</sup></b>	<b>-97 °C (-142.60°F)</b>	<b>UEL (200°F): 22 % LEL (200°F): 13 %</b>
Temperatura de autoignición	Aspecto	Solubilidad
<b>640°C ( 1184°F)</b>	<b>Líquido incoloro con olor dulce característico semejante al cloroformo.</b>	<b>Casi insoluble en agua 2 % p/p, soluble en alcohol, éter, cloroformo, benceno, hexano.</b>

## 10-ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad	Condiciones que evitar:	Estable bajo condiciones normales, sin embargo, la sustancia se descompone al calentarla por encima de 120°C. En presencia de agua al calentarla por encima de 60°C se forma Clorhídrico. No permitir que entre en contacto con los materiales Incompatibles.
ESTABLE	INESTABLE	Riesgo de explosión con: Metales alcalinos, óxidos de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, Potasio, Azida de Sodio, ácido perclórico, Ácido nítrico, cloruro de aluminio, Aminas, Oxígeno (como gas licuado), aluminio en polvo, sodio, hidro- carburos aromáticos con aluminio en polvo. Reacción exotérmica con: Metales alcalinotérreos, Metales en polvo, amidas, alcoholatos, óxidos no metálicos, ter-butanol ato de potasio, amida de sodio.
X		
Riesgo de polimerización	Condiciones que evitar:	Bajo condiciones normales de temperatura y presión no se espera que ocurra riesgo de polimerización peligrosa. Disuelve algunos plásticos.
Puede Ocurrir	No Ocurrirá	Peligro de Descomposición: Cuando se lo calienta hasta descomposición, emite humos, que incluyen dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) gaseoso, gases tóxicos y corrosivos de cloro, fosgeno, monóxido de carbono y cloruro de hidrógeno.

Métodos de Extinción:

## 11-INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Vías Primarias de Ingreso	¿INHALACIÓN?	X	¿ABSORCIÓN DE PIEL?	X	¿INGESTIÓN?	X
<b>INHALACION:</b>	Irritante para vías respiratorias, ojos y garganta. Desagradables al respirar En altas concentraciones: sensación de embriaguez, agitación, vértigo, náuseas, vómito, somnolencia, narcosis pro-funda, riesgo de bronco pulmonía química y edema pulmonar. En caso de exposiciones repetidas o prolongadas: mal de cabeza, fatiga y riesgo de alteraciones nerviosas.					
<b>ABSORCION:</b>	El contacto con los ojos puede causar irritación intensa, lagrimeo, daños en los tejidos y ceguera. El producto puede ser absorbido por la piel sana y causar irritación. En caso de contacto repetido o prolongado puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar al CNS y al hígado dando lugar a una enfermedad degenerativa del cerebro y aumento del tamaño del hígado.					
<b>INGESTIÓN:</b>	Olor de aliento típico del cloroformo, irritaciones de la boca y el cuello. Nausea, vómito, dolores de estómago y diarrea. Sensación de embriaguez, agitación, vértigo y somnolencia. Riesgo de alteraciones de hígado y de riñón. Los efectos pueden no ser inmediatos.					
Cancerigenicidad:	NTP Clasificación	Grupo de revisión del cáncer	Regulado por OSHA	Órganos de Impacto		
<b>Humana: listado como carcinogénico potencial Animal: Efecto cancerígeno por inhalación e ingestión</b>	<b>NO</b>	<b>NO</b>	<b>29 CFR 1910.1000 Tabla Z-2</b>	<b>Hígado, piel, ojos, sistema respiratorio, CNS.</b>		

## 12-INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Toxicidad para los peces:	Toxicidad para las Daphnias y otros invertebrados acuáticos:	Toxicidad para las algas:	Toxicidad para las bacterias:
CL50 Pimephales promelas (Piscardode cabeza gorda): 193 mg/l; 96 h	CE50 Daphnia magna (Pulga de mar grande): 1.682 mg/l; 48 h	IC50 Pseudokirchneriella subcapitata (alga verde): 660 mg/l; 96 h	CE50 Photobacterium phsphoreum 2,88 mg/l; 15 min
Tóxico para los organismos acuáticos. No dejar que se infiltre en aguas subterráneas, aguas superficiales o en alcantarillados. Una cantidad mínima vertida en el subsuelo ya representa un peligro para el agua potable.			

## 13-CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICIÓN/ELIMINACION

Disposición:	No se permite su vertido en alcantarillas o cursos de agua. Se puede disponer en un relleno sanitario especial para sustancias químicas, alternativamente retornar el material al productor para purificación por destilación. Se puede incinerar el producto en un horno permitido bajo las normativas legales vigentes. Para un posible reciclaje, contactar organismos procesadores de desechos industriales. Los embalajes que no se pueden limpiar deben desecharse de la misma manera que la sustancia.
--------------	---

## 14-INFORMACIÓN DEL TRANSPORTE

TRANSPORTE TERRESTRE						
Denominación Técnica:		CLORURO DE METILENO				
ONU	1593	CLASE	6.1	GRUPO DE EMBALAJE ADR	III	
TRANSPORTE MARÍTIMO						
Denominación Técnica:		CLORURO DE METILENO				
ONU	1593	CLASE	6.1	GRUPO DE EMBALAJE IMDG	III	
TRANSPORTE AEREO						
Denominación Técnica:		CLORURO DE METILENO				
ONU	1593	CLASE	6.1	GRUPO DE EMBALAJE IATA	III	
Marca en Etiqueta		TÓXICO				
Instrucciones de embalaje ICAO:		CAO 663 PAX 665				
Clasificación de la sustancia de acuerdo a HMIS						
SALUD	FUEGO	REACTIVIDAD	OTRA	GRADO DE PELIGROSIDAD	CÓDIGO DE COLORES	OTROS CÓDIGOS
2	1	0		0=Mínimo riesgo 1=Riesgo despreciable 2=Riesgo moderado 3=Riesgo serio 4=Riesgo severo	SALUD=AZUL FUEGO=ROJO REACTIVIDAD= AMARILLO OTROS = BLANCO	OX=Oxidante ACID = Acido ALK =Alcalino COR =Corrosivo W=No usar agua

## 15-INFORMACIÓN REGULATORIA

Líquido Nocivo para la salud y peligroso para el medio ambiente

Considerado como material de moderado riesgo para la salud y alto riesgo para el medio ambiente acuático. Posibles efectos cancerígenos en humanos. Figura en el listado del acuerdo MERCOSUR–Reglamento General de Transporte de Mercancías Peligrosas en Resolución 297/95.

La sustancia figura en la lista II de precursores químicos del RENPRESustancia controlada por el SEDRONAR

La sustancia se ha clasificado y etiquetado de acuerdo con el SGA

**Producto NO INFLAMABLE, no enciende y arde con dificultad, pero al calentarse genera vapores venenosos. En caso de incendio utilizar Polvo Químico Seco, spray de agua, espuma resistente a alcoholes, Dióxido de carbono en fuegos pequeños. No usar para la extinción chorro de agua directa.**

Procedimientos específicos en la extinción del fuego:

**Según la magnitud del incendio puede ser necesario el uso de ropa de protección total y equipo de respiración autónomo. No utilice spray para diluir el derrame. Dispersar los vapores para mantener los contenedores fríos.**

## 16-INFORMACIÓN ADICIONAL

La información y recomendaciones indicadas están basadas en fuentes confiables, LABORATORIOS LADCO no asegura que sea completa o precisa. Es responsabilidad del usuario determinar si es adecuado y seguro para el uso que quiera dar le y su apropiada disposición final. No hay garantías, expresas y/o implícitas de la comercialización o apropiados para el uso particular de cualquier otra naturaleza. LABORATORIOS LADCO no asume ninguna responsabilidad adicional ni autoriza asumirla a ninguna persona por el uso dado a esta información o su confiabilidad.

**Abreviaturas y Acrónimos:**

**ACGIH:** American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales) **ADR:** European agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera)

**CAO:** passenger aircraft (Aeronave de pasajeros)

**CMP:** Concentración máxima permisible

**CMP-CPT:** Concentración máxima permisible para cortos periodos de tiempo

**DOT:** United States Department of Transportation

**EC20:** Concentración de una sustancia que causa un 20 % de la respuesta máxima para el efecto biológico en estudio

**EC50:** Concentración de una sustancia que causa un 50 % de la respuesta máxima para el efecto biológico en estudio **GTIN:** Global Trade Item Number (Número de artículo Comercio Global)

**HMIS:** Hazardous Materials Identification System (Sistema de Identificación de Materiales Peligrosos)

**IATA:** International Air Transport Association (Asociación Internacional de Transporte Aéreo) **IC50:** Concentración de sustancia que causa una inhibición del 50% de la actividad de los organismos en estudio. **ICAO:** International Civil Aviation Organization (Organización Internacional de Aviación Civil)

**IDLH:** Immediately Dangerous to Life or Health (Inmediatamente peligroso para la vida o la salud)

**IMDG:** International Maritime Code for Dangerous Goods (Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas)

**LC50:** Concentración en la que el 50% de los organismos sometidos a ensayo mueren en un tiempo definido.

**LEL:** Lower explosive limit (Límite inferior de explosividad)

**N.C.M.:** Nomenclatura común del Mercosur

**NFPA:** National Fire Protection Association (Asociación Nacional de Protección contra el fuego de Estados Unidos) **NIOSH:** The National Institute for Occupational Safety and Health (Instituto Nacional de seguridad y salud ocupacional) **NTP:** National Toxicological Program (Programa Nacional Toxicológico, Estados Unidos)

**ONU:** Organización de las Naciones Unidas

**OSHA:** Occupational Safety and Health Administration (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos)

**PAX:** freight aircraft (Aeronave de Carga)

**PEL:** Permissible exposure limit (Límite de exposición permisible)

**REL:** Recommended Exposure Limits (Límite de exposición recomendados)

**RENPRE:** Registro Nacional de Precursores Químicos

**SEDRONAR:** Secretaría de Programación para la Prevención de la Drogadicción y la Lucha contra el Narcotráfico

**SGA:** Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos

**STEL:** Short Term Exposure Limit (límite de exposición a corto plazo)

**TLV:** Threshold Limit Values (Valores límite Umbral)

**NA:** No Aplicable

**ND:** No Disponible

(Chametba y Paredes, 2014)