

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO
DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN ECONÓMICA Y TÉCNICA DE
ADSORBENTES SINTÉTICOS PARA
RECUPERACIÓN DE ACEITE USADO DE MOTOR
EN AGUA**

Trabajo de Graduación presentado por
María Andreé Colindres Sierra para optar por el grado
académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala,
2021

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO
DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN ECONÓMICA Y TÉCNICA DE
ADSORBENTES SINTÉTICOS PARA RECUPERACIÓN
DE ACEITE USADO DE MOTOR EN AGUA**

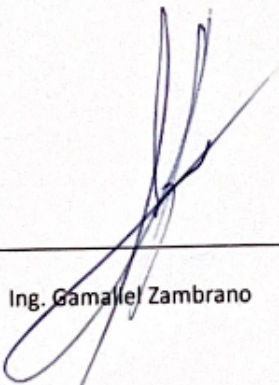
Trabajo de Graduación presentado por
María Andreé Colindres Sierra para optar por el grado
académico de Licenciada en Ingeniería Química

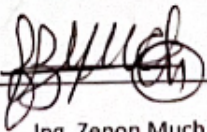
Guatemala,
2021

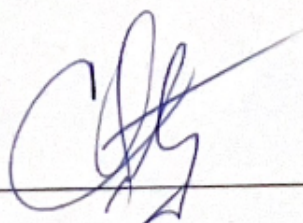
Vo. Bo.

(f) 
Ing. Zenon Much

Terna examinadora

(f) 
Ing. Gamaliel Zambrano

(f) 
Ing. Zenon Much

(f) 
Ing. Carmen Ortiz

Fecha de aprobación: Guatemala, 17 de diciembre de 2021

PREFACIO

El trabajo de graduación presentado a continuación lleva el título de “RECUPERACIÓN DE AGUA EN MEZCLA INMISCIBLE CON ACEITE USADO DE MOTOR, UTILIZANDO ADSORBENTES SINTÉTICOS”. Este consiste en la evaluación de tres distintos adsorbentes que actualmente se venden en el mercado; por lo que se determinó la funcionalidad de cada uno de ellos para adsorber aceite de motor usado. Este trabajo ha sido escrito por parte del requisito de graduación de la carrera Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala. El período del estudio y redacción de este trabajo fue de enero a septiembre del año 2021.

El estudio realizado en este trabajo fue producto de la problemática que se vive actualmente y con la cual se ha vivido desde hace años, como lo es la contaminación del agua, que debido a dicha problemática y a las variaciones del clima la misma se está haciendo más escasa debido a parte de los factores explicados anteriormente, entre los cuales está el mal descarte de desechos como lo es el aceite de motor usado. Al observar cómo el aceite de motor afecta al medio ambiente como lo hacen los derrames de petróleo, me llamó más la atención este tema y me propuse evaluar materiales que prometen ser buenos adsorbentes, qué tan prometedores eran y si económicamente eran rentables.

Agradezco a mis catedráticos que me han brindados sus conocimientos durante las clases impartidas, los cuales pude aplicar de manera directa en mi trabajo de graduación. Me gustaría agradecerle a mi asesor por su apoyo y soporte durante la elaboración de este trabajo de graduación y a mi director de carrera el Ingeniero Zambrano. También me gustaría agradecer a las personas ajenas a la Universidad que me brindaron las muestras para poder llevar a cabo mi tesis entre ellas: Don edi de JR Centocar, Jodi Mosley y Alejandro Leiva y a Jaime Oxcal por apoyarme con el correcto manejo de los desechos.

Agradezco el apoyo de todos mis amigos que siempre estuvieron dispuestos a ayudarme durante mi trabajo de graduación desde lo experimental hasta en la búsqueda de la información de este, para determinar las posibles aplicaciones que tenía el tema antes de elaborarlo y que siempre trataron de mantenerme motivada cuando perdía la motivación de seguir adelante. Por último, pero no menos importante agradezco a mis padres Jorge Colindres y Lorena Sierra, por apoyarme durante estos 5 años de carrera dándome la oportunidad de poder estudiar en esta prestigiosa Universidad y darme ánimos para seguir motivada para terminar mi trabajo de graduación y siempre darme sabios consejos para poder seguir adelante.

CONTENIDO

LISTADO DE CUADROS	ix
LISTADO DE FIGURAS	XI
RESUMEN.....	XII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
III. OBJETIVOS	3
IV. JUSTIFICACIÓN.....	4
V. MARCO TEÓRICO.....	5
A. EL ACEITE USADO	5
B. LA ADSORCIÓN.....	7
C. LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ADSORCIÓN	8
D. LOS TIPOS DE MATERIALES	10
E. LA DISPOSICIÓN DE LOS DESECHOS	12
F. DESCRIPCIÓN DE LOS ADSORBENTES UTILIZADOS	13
G. LOS EQUIPOS UTILIZADOS	14
H. LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA	15
I. LA ESTADÍSTICA.....	16
J. ECUACIONES	17
VI. ANTECEDENTES.....	21
VII. MATERIALES Y EQUIPO.....	22
VIII. METODOLOGÍA	23
C. EVALUACIÓN DE DENSIDAD Y VISCOSIDAD DE LA MUESTRA DE ACEITE AL REALIZAR LAS ADSORCIONES	23
D. EVALUACIÓN DE MANTAS ADSORBENTES: PRUEBAS CON CAMBIOS EN LA RELACIÓN DE LOS VOLÚMENES	24
E. EVALUACIÓN DE MANTAS ADSORBENTES: PRUEBAS CON CAMBIOS EN EL TIEMPO DE CONTACTO	25
F. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DE ADSORBENTE GRANULAR	25
G. EVALUACIÓN ADSORBENTE GRANULAR: PRUEBAS CON CAMBIOS EN LA RELACIÓN DE LOS VOLÚMENES	26
H. EVALUACIÓN ADSORBENTE GRANULAR: PRUEBAS CON CAMBIOS EN EL TIEMPO DE CONTACTO	27
I. EVALUACIÓN DE ADSORBENTES PARA OBJETIVO No. 2.....	28
K. GENERACIÓN DE RESULTADOS.....	28
L. DESCARTE DE LOS DESECHOS	29
IX. RESULTADOS	30
IX. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	36
X. CONCLUSIONES	43
XI. RECOMENDACIONES	44
XII. BIBLIOGRAFÍA	45
XIII. ANEXOS.....	50

A. DATOS ORIGINALES	50
B. CÁLCULOS DE MUESTRA	70
C. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	79
C. FOTOGRAFÍAS DE MATERIALES	81
XIV. GLOSARIO	86

LISTADO DE CUADROS

Tabla 1. Análisis costo beneficio de los tres adsorbentes en estudio	32
Tabla 2. Resultados de análisis costo volumen de cada uno de los adsorbentes en estudio a partir de una mezcla con un volumen de 50 mL de agua y 50 mL de aceite	53
Tabla 3. Capacidad de sorción para tres diversos adsorbentes variando el tiempo de contacto	54
Tabla 4. Porcentaje de remoción para tres diversos adsorbentes variando el tiempo de contacto	54
Tabla 5. Capacidad de sorción para tres diversos adsorbentes variando el volumen de la mezcla aceite-agua	54
Tabla 6. Porcentaje de remoción para tres diversos adsorbentes variando el volumen de la mezcla aceite-agua	55
Tabla 7. Valores de la concentración del adsorbato y la capacidad de adsorción del adsorbente para la elaboración de las curvas de equilibrio para el adsorbente Ultra-X-Tex	55
Tabla 8. Valores de la concentración del adsorbato y la capacidad de adsorción del adsorbente para la elaboración de las curvas de equilibrio para el adsorbente de Polipropileno	55
Tabla 9. Valores de la concentración del adsorbato y la capacidad de adsorción del adsorbente para la elaboración de las curvas de equilibrio para el adsorbente SpillFix	56
Tabla 10. Resultados de las variables n, m y R ² para los tres adsorbentes analizados.....	56
Tabla 11. Datos originales para el análisis granulométrico del adsorbente SpillFix	57
Tabla 12. Datos promedio para el análisis del agua de entrada limpia y salida luego de adsorciones.....	57
Tabla 13. Datos promedio para el análisis del agua de entrada con aceite de motor usado y salida luego de las adsorciones.....	58
Tabla 14. Datos promedios para la determinación de la capacidad de sorción del adsorbente Ultra-X-Tex variando el tiempo de contacto.....	58
Tabla 15. Datos promedios para la determinación de la capacidad de sorción del adsorbente de Polipropileno variando el tiempo de contacto	58
Tabla 16. Datos promedios para la determinación de la capacidad de sorción del adsorbente SpillFix variando el tiempo de contacto.....	59
Tabla 17. Datos promedios para la determinación de la capacidad de sorción del adsorbente de Polipropileno variando el volumen de la mezcla	59
Tabla 18. Datos promedios para la determinación de la capacidad de sorción del adsorbente Ultra-X-Tex variando el volumen de la mezcla	59
Tabla 19. Datos promedios para la determinación de la capacidad de sorción del adsorbente SpillFix variando el volumen de la mezcla	60
Tabla 20. Datos originales promedios para la elaboración de la curva de retención y la curva de equilibrio del adsorbente Ultra-X-Tex	60
Tabla 21. Datos originales promedios para la elaboración de la curva de retención y la curva de equilibrio del adsorbente de Polipropileno.....	60
Tabla 22. Datos originales promedios para la elaboración de la curva de retención y la curva de equilibrio del adsorbente SpillFix.....	61
Tabla 23. Datos originales para la determinación de la densidad del aceite de motor utilizado para el estudio	61

Tabla 24. Datos originales para la determinación de la viscosidad del aceite de motor utilizado para el estudio	61
Tabla 25. Porcentaje de error de las capacidades de sorción de cada adsorbente, variando el tiempo de contacto	62
Tabla 26. Porcentaje de error de las capacidades de sorción de cada adsorbente, variando el volumen de la mezcla inmiscible	62
Tabla 27. Valores Y0 para determinar los puntos de saturación de los tres adsorbentes utilizados en el estudio	62
Tabla 28. Valores Ss/Ls para determinar punto de saturación de cada adsorbente	63
Tabla 29. Valores "X" para la elaboración de coordenada para punto de saturación	63
Tabla 30. Valores de "Y" para elaboración de coordenada para punto de saturación	63
Tabla 31. Valores de saturación para cada adsorbente evaluado	64
Tabla 32. Valores originales adsorbente Ultra-X-Tex tiempo de contacto de 2 minutos	64
Tabla 33. Valores originales adsorbente Ultra-X-Tex tiempo de contacto 4 minutos	64
Tabla 34. Valores originales adsorbente Ultra-X-Tex tiempo de contacto 6 minutos	65
Tabla 35. Valores originales adsorbente Ultra-X-Tex tiempo de contacto de 8 minutos	65
Tabla 36. Valores originales adsorbente Polipropileno tiempo de contacto de 2 minutos ..	65
Tabla 37. Valores originales adsorbente Polipropileno tiempo de contacto de 4 minutos ..	65
Tabla 38. Valores originales adsorbente Polipropileno tiempo de contacto de 6 minutos ..	66
Tabla 39. Valores originales adsorbente Polipropileno tiempo de contacto de 8 minutos ..	66
Tabla 40. Valores originales adsorbente SpillFix tiempo de contacto de 2 minutos	66
Tabla 41. Valores originales adsorbente SpillFix tiempo de contacto de 4 minutos	66
Tabla 42. Valores originales adsorbente SpillFix tiempo de contacto de 6 minutos	67
Tabla 43. Valores originales adsorbente SpillFix tiempo de contacto de 8 minutos	67
Tabla 44. Valores originales adsorbente Ultra-X-Tex para mezcla inmiscible 50:10 ml	67
Tabla 45. Valores originales adsorbente Ultra-X-Tex para mezcla inmiscible 50:30 ml	67
Tabla 46. Valores originales adsorbente Ultra-X-Tex para mezcla inmiscible 50:50 ml	68
Tabla 47. Valores originales adsorbente Polipropileno para mezcla inmiscible 50:10 ml ..	68
Tabla 48. Valores originales adsorbente Polipropileno para mezcla inmiscible 50:30 ml ..	68
Tabla 49. Valores originales adsorbente Polipropileno para mezcla inmiscible 50:50 ml ..	68
Tabla 50. Valores originales adsorbente SpillFix para mezcla inmiscible 50:10 ml	69
Tabla 51. Valores originales adsorbente SpillFix para mezcla inmiscible 50:30 ml	69
Tabla 52. Valores originales adsorbente SpillFix para mezcla inmiscible 50 :50 ml	69

LISTADO DE FIGURAS

Ilustración 1. Naftaleno, ejemplo de hidrocarburo aromático.....	5
Ilustración 2. Rango de aceites para motor dependiendo su grado de viscosidad	7
Ilustración 3. Dirección vs concentración de adsorbato.....	9
Ilustración 4. Información técnica del polipropileno	11
Ilustración 5. Especificaciones de materiales adsorbentes.....	13
Ilustración 6. Tipos de contaminantes del agua	15
Ilustración 7. Capacidad de sorción promedio para tres diversos adsorbentes variando el tiempo de contacto	30
Ilustración 8. Porcentaje de remoción con datos promedios para tres diversos adsorbentes variando el tiempo de contacto.....	30
Ilustración 9. Capacidad de sorción promedio para tres diversos adsorbentes variando el volumen de la mezcla agua-aceite.....	31
Ilustración 10. Porcentaje de remoción con datos promedios para tres diversos adsorbentes variando el volumen de la mezcla agua-aceite.....	31
Ilustración 11. Curva de equilibrio con datos promedios del adsorbente Ultra-X-Tex	33
Ilustración 12. Curva de equilibrio con datos promedios del adsorbente de Polipropileno.	33
Ilustración 13. Curva de equilibrio con datos promedios del adsorbente SpillFix	34
Ilustración 14. Curva de equilibrio linealizada con datos promedios del adsorbente Ultra-X-Tex.....	34
Ilustración 15. Curva de equilibrio linealizada con datos promedios del adsorbente de Polipropileno	35
Ilustración 16. Curva de equilibrio linealizada con datos promedios del adsorbente SpillFix	35
Ilustración 17. Determinación punto de saturación de adsorbente Ultra-x-Tex	50
Ilustración 18. Determinación punto de saturación de adsorbente de Polipropileno.....	51
Ilustración 19. Determinación punto de saturación de adsorbente SpillFix.....	52
Ilustración 20. Análisis granulométrico para determinar el rango del tamaño de partícula del adsorbente SpillFix.....	56
Ilustración 21. Adsorbente de Polipropileno utilizado.....	81
Ilustración 22. Adsorbente Ultra-X-Tex utilizado	81
Ilustración 23. Sistema utilizado para medir la viscosidad del aceite de motor.....	82
Ilustración 24. Ejemplo de mezcla inmiscible agua-aceite de motor	82
Ilustración 25. Platos para el Tamizador Shaker del Laboratorio de Operaciones Unitarias	83
Ilustración 26. Adsorbente granular luego de secado en estufa	84
Ilustración 27. Descarte de desechos para incineración.....	84
Ilustración 28. Incineración de adsorbentes	85

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el estudio para determinar entre tres distintos adsorbentes cuál era el más apropiado para remover aceite de motor usado del agua. Se realizaron diversos análisis para verificar si el adsorbente constituido de fibras recicladas, el cual es el adsorbente Ultra-X-Text era mejor adsorbente de aceite usado; por lo que, se comparó con los otros dos adsorbentes: de polipropileno, y un adsorbente granular. Primero, se consiguió el aceite a usar de motor de un taller mecánico y se evaluaron los tres distintos adsorbentes para de esta manera determinar la capacidad de sorción de estos. Las pruebas realizadas fueron a escala laboratorio y se varió tanto el tiempo de contacto de los adsorbentes en la mezcla inmiscible agua-aceite como el volumen de la mezcla, para así determinar la capacidad de sorción de cada uno de estos. Las pruebas realizadas para cada adsorbente se realizaron en triplicado; por lo que, se realizó un total de 12 pruebas para la variación de tiempo de contacto para 1 adsorbente (4 pruebas en triplicado) y 9 pruebas para la variación de volumen (3 pruebas en triplicado) para 1 adsorbente, siendo un total de 21 pruebas totales para cada adsorbente.

Se realizaron diferentes análisis para determinar cuál de los adsorbentes era la mejor opción; por lo que se utilizaron fundamentos teóricos de Transferencia de Masa, en específico el método de Freundlich para determinar cuándo un adsorbente es recomendable para los procesos de adsorción, por lo cual fue necesario elaborar las gráficas de equilibrio y generar las linealizaciones de los datos obtenidos para cada adsorbente. También se realizó un análisis económico (costo-beneficio) de los adsorbentes, para determinar cuál era más recomendable económicamente. A partir del estudio realizado se llegó a la conclusión que el adsorbente con las mejores características fue el adsorbente Ultra-X-Text, debido a que fue al que mejores curvas tanto la de equilibrio como la curva linealizada presentó. Asimismo, el factor costo-beneficio obtenido del adsorbente anterior fue mayor a 1 (1.18) y tuvo una capacidad de sorción entre $(12.5114-13.1576) \pm 0.0001 \text{g/g}$. Todo lo anterior fue suficiente justificación para concluir que sí es recomendable utilizar el adsorbente en empresas donde existan derrames accidentales y no se tenga el volumen ni el ingreso para construir una planta de tratamiento de aguas residuales y tengan aguas contaminadas con aceites

I. INTRODUCCIÓN

La problemática de verter aceite usado en los desagües es un tema delicado en la actualidad debido a la mala educación sobre cómo se deben desechar dichos residuos luego de utilizar aceite, ya que cada mes se desechan de manera inapropiada más de 64 millones litros de aceite usado. El aceite de motor sirve para evitar que el motor llegue a fundirse debido a la fricción y sobrecalentamiento por falta de un lubricante. El aceite también debe brindar y garantizar que el motor tenga una gran eficiencia cuando se arranca en frío, pero dicha capacidad del aceite se va deteriorando conforme pasa el tiempo, ya que el aceite se va volviendo cada vez más viscoso. La industria del aceite es una de las industrias que más demanda posee, ya que la mayoría de las personas utilizan carros propios para transportarse en su día a día, o utilizan algún tipo de transporte el cual necesita aceite para mantener lubricado su motor. Un ejemplo de lo anterior es Estados Unidos, en el cual se producen 5,200 millones de litros de desecho de aceite, de los cuales se reciclan solamente 3,200 millones (Muñoz, 2017) y (Noria, 2016).

La industria del aceite ha sido altamente explotada desde hace miles de años, pero como era de esperarse todos los consumos de materiales generan diversos impactos ambientales. Casi a diario en los talleres se cambia el aceite de motor a los automóviles o motocicletas, por lo que se cambia el aceite usado por aceite nuevo. Diversas industrias han buscado formas y productos que sean eficientes para lograr recuperar el aceite del agua, para de esta manera evitar la pérdida total del agua la cual durante el paso de los años se ha ido haciendo cada vez más escasa. Para lograr lo mencionado en el mercado se tienen disponibles diversos materiales sintéticos que actúan como adsorbentes, los cuales varían por su composición y eficiencia, afectando así su rentabilidad (Piedra *et al*, 2016).

Algunos de los productos que más han tenido protagonismo en la separación del agua de mezclas inmiscibles, son las almohadillas sintéticas las cuales actúan como adsorbentes de aceites. La importancia de estos productos es que estos han ido mejorando debido al desarrollo y avance de las tecnologías. Cabe mencionar que debido a la problemática de la contaminación se han utilizado compuestos que puedan considerarse residuos, para que actúen como los adsorbentes sintéticos; como por ejemplo: el adsorbente granular SpillFix® a base de fibra de coco, el cual es completamente orgánico capaz de contener diversos líquidos industriales (Melcsa, 2020).

El presente trabajo consiste en el análisis de los diversos tipos de adsorbentes: totalmente sintéticos, sintéticos pero compuestos de fibras recicladas y de gránulos orgánicos, para de esta manera determinar cuál es el más económico (más rentable), mejor adsorbente y el que menos contaminación generaría en su disposición final. Para cada uno de los tres adsorbentes utilizados se determinó la capacidad de remoción variando los tiempos de contacto y el volumen de la mezcla. También se determinó por medio de la ecuación de Freundlich la cual es una ecuación teórica para adsorciones en soluciones diluidas, el comportamiento de la curva de equilibrio teórica de los adsorbentes para de esta manera determinar si la teoría concordaba con la práctica. Todo lo anteriormente descrito para evaluar cuál adsorbente era la opción más rentable.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El porcentaje de la población en Guatemala que tiene acceso a agua potable domiciliar es el 75% de la población; siendo 90% los que están en el área urbana y 60% en el área rural. Dicho porcentaje no siempre está asegurado debido a la desorganizada gestión del abastecimiento del agua en Guatemala y es por esto también que no siempre se obtiene agua de buena calidad. El estado guatemalteco ha declarado que el agua potable es un derecho humano, pero las normas para el tratamiento de aguas residuales algunas veces tienen distintas interpretaciones lo cual tiene como consecuencia que algunos municipios descarguen sus aguas residuales no tratadas directamente hacia los ríos y lagos (Polo, 2014).

Uno de los más grandes contaminantes del agua es el aceite de motor quemado o usado; por lo que una gota de aceite de motor quemado puede ser capaz de contaminar mil litros de agua lo cual repercute en la salud de las personas que se abastecen de este líquido. Un ejemplo del problema del mal descarte del aceite de motor usado es el Lago de Atitlán el cual está contaminado de diversos desechos entre ellos: aceite quemado de motor, baterías, electrodomésticos y electrónicos, los cuales son dañinos tanto para el lago como para los vecinos que tienen contacto con este (Julajuj, 2017).

La contaminación de cuerpo de agua con aceite de motor usado es una problemática actual debido a que el mal descarte de este puede perjudicar gravemente la salud de las personas que consuman agua contaminada con este material, ya que el aceite de motor usado tiene metales como: cromo, cobre, aluminio, plomo, manganeso, estaño, sílice, hierro y níquel los cuales provienen de partes del motor que se desgastan. Asimismo, posee pequeñas cantidades de anticongelante y sustancias químicas que provienen de la gasolina cuando la gasolina se enciende dentro del motor. El aceite de motor está compuesto de hidrocarburos y cuando estos entran en contacto con los cuerpos de agua conforme pasa el tiempo se depositan en esta y pueden acumularse en los animales acuáticos. Los metales contenidos en el aceite usado de motor permanecen en el agua durante mucho tiempo; por lo que, es necesario evitar por completo el mal descarte del aceite de motor usado.

Uno de los mayores problemas que provoca el mal descarte, es que puede fomentar el proceso de bioacumulación. Proceso donde tanto los metales pesados como los hidrocarburos se depositan en los organismos acuáticos, ya que dichos elementos se acumulan en los tejidos biológicos de estos, afectando así de manera directa la cadena alimenticia, a la cual pertenece el ser humano si consume animales acuáticos, los cuales pueden estar contaminados ya se que hayan consumido animales contaminados (por los elementos químicos) o que estén directamente contaminados por dichos compuestos. Cabe mencionar que el mayor impacto sobre la salud por la ingesta de aguas contaminadas con aceite de motor usado es que este provoca enfermedades diarreicas a quien consuma el líquido contaminado y esto puede repercutir en la muerte de las personas. Asimismo, el aceite de motor usado tiene PAHs (hidrocarburos policíclicos aromáticos) los cuales son agentes que pueden llegar a causar cáncer (ATSDR, 2016).

III. OBJETIVOS

A. Objetivo general

1. Evaluar técnica y económicamente tres tipos de adsorbentes para recuperar aceite de motor en agua.

B. Objetivos específicos

1. Evaluar la capacidad de adsorción de materiales sintéticos basado en el porcentaje de remoción de aceite de motor usado en agua, variando los volúmenes y tiempo de contacto.
2. Realizar un análisis costo-beneficio basado en las curvas de retención de aceite usado de motor de cada uno de los adsorbentes, para determinar la opción más funcional y económica.
3. Determinar qué adsorbente presenta la curva de equilibrio más cercana a la ideal, evaluando la capacidad de estos, mediante la ecuación de Freundlich para predecir la forma de la curva de equilibrio.

IV. JUSTIFICACIÓN

La mala disposición final del aceite usado en los talleres de automóviles es un problema actual. Casi todos los días hay vertidos de aceites en los desagües, los cuales van hacia cuerpos de agua; por lo que, se debe buscar la manera en la que sea posible rescatar los cuerpos de agua, ya que la contaminación de los grandes volúmenes de agua que se contaminan mensualmente, debido a la mal descarte del aceite usado puede llegar a afectar a toda la población mundial de manera directa, ya que se está fomentando la escasez del agua como tal y ya existen lugares como, por ejemplo, África que algunos sectores no tienen agua potable (Ayuda en acción, 2017). Cabe agregar, que otro ejemplo de lo anterior es Guatemala, en la cual hay más de mil hogares que no tienen el privilegio de tener acceso a agua potable o el acceso a esta es limitado, por lo que no poseen agua para cocinar o para uso sanitario todos los días (Marn, 2017). Se está en el momento ideal para prevenir que se sufran consecuencias que puedan provocar la muerte de los seres vivos debido a la escasez del agua, por la mala educación de que comúnmente se vierten todos los desechos líquidos por el desagüe, sin pensar en sus repercusiones. Dicha mala práctica se podría evitar por completo, pero no todas las personas se toman la molestia ni saben el daño que 1 litro de aceite quemado puede hacerles a los cuerpos de agua que posee el país, y es por esto que es necesario buscar una solución para rescatar el agua que se contamina con aceites por el mal desecho de estos (Peláez, 2015).

Con este trabajo de graduación, se evaluará la capacidad de adsorción de tres distintos adsorbentes unas mantas y uno granular, realizando un análisis económico y técnico. Una de las mantas, compuesta de fibras recicladas la cual hace posible que se recupere por completo el agua, ya que esta pasa a través de la tela mientras que el aceite se queda retenido, y la segunda, de polipropileno adsorbe el aceite usado, repeliendo el agua; mientras que el adsorbente granular orgánico compuesto de fibras de coco, adsorbe solamente el aceite usado, pero no el agua. Se seleccionaron los adsorbentes debido a las características de estos; es decir, que fueran capaces de remover aceite de agua al entrar en contacto con la mezcla inmiscible de agua-aceite. Los adsorbentes hacen posible evaluar la posibilidad de utilizar compuestos sintéticos reciclados y otros no reciclados para poder recuperar el aceite de motor usado en agua, sin tener que utilizar químicos que puedan llegar a contaminar el agua de diferente manera. Asimismo, la composición de los tres adsorbentes propuestos, podrían ser la solución a la mala disposición y derrames de aceite de motor usado, al evaluar la cantidad de aceite adsorbido para lograr recuperar el agua. Cabe mencionar que se utilizará como datos teóricos los resultados obtenidos a partir de la ecuación de Freundlich para respaldar la recomendación final del adsorbente más rentable. La forma de descarte de los adsorbentes podría ser como primer paso destilarlos para recuperar el aceite de motor usado y generar energía por medio de este, y luego los adsorbentes destilados reutilizarlos tomando en cuenta que las capacidades de sorción disminuirían u otra opción sería incinerarlos.

V. MARCO TEÓRICO

A. El aceite usado

El aceite usado es todo aquel aceite que ya no es adecuado para volver a utilizarse. Los impactos ambientales que puede llegar a tener este residuo son desde contaminar el mar hasta contaminar los suelos. El impacto que tiene el aceite usado sobre el agua es bastante nocivo, esto debido a que el agua se contamina con diversos compuestos como: azufre, cloro, hidrocarburos polinucleares aromáticos (PNA), fósforo, compuestos de zinc, fenoles, pesticidas, entre otros (CEMPRE, 2021).

La viscosidad es la propiedad de los fluidos que permite o no que estos fluyan, lo cual es provocado por el rozamiento entre sus moléculas (RAE, 2021).

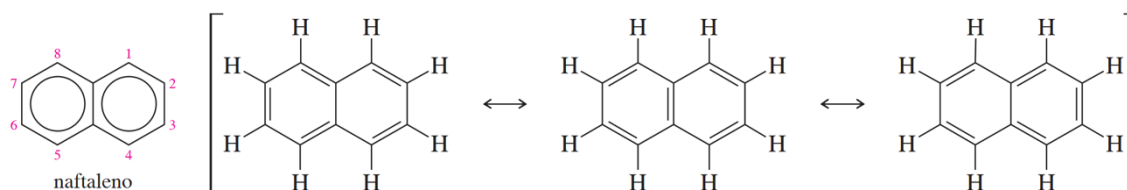
La densidad se define como la masa por la unidad de volumen; es decir es la masa total de la sustancia (m) dividido entre el volumen total (V) que ocupa la sustancia como tal. Asimismo, la densidad es el recíproco del volumen específico de una sustancia. Sus dimensionales son: en el sistema internacional kg/m^3 , mientras que en el sistema inglés es lbm/ft^3 (Connor, 2019).

La tensión superficial es la medida de la fuerza elástica que hay en la superficie de un líquido; esta es la cantidad de energía que se necesita para poder aumentar o disminuir la superficie de un líquido por unidad de área (Chang, 2007).

El desecho de aceite el cual es utilizado en los motores es una de las mayores causas de contaminación en las aguas residuales urbanas. Este residuo está clasificado como residuo peligroso, debido a los contaminantes tóxicos que posee, lo cual puede perjudicar altamente al medio ambiente (Muñoz, 2017).

Los hidrocarburos aromáticos polinucleares aromáticos (PNA) están conformados de dos o más anillos de benceno los cuales están fusionados. Dichos anillos fusionados están unidos por un átomo de carbono. El ejemplo más simple de este tipo de compuesto aromático fusionado es el naftaleno.

Ilustración 1. Naftaleno, ejemplo de hidrocarburo aromático



(Wade, 2011).

El aceite usado de cárter es otro nombre para el aceite usado de motor, este es un líquido de color pardo negro que se quita de los motores de los automóviles cuando se cambia el aceite. Este aceite es parecido al aceite de motor sin usar, pero tiene sustancias químicas extras que se producen o acumulan en el aceite cuando se usa como lubricante de los motores. Tiene sustancias químicas que también están en el aceite que no ha sido usado como los hidrocarburos alifáticos de cadena lineal e hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs); dichos hidrocarburos se destilan del petróleo crudo, esto para mejorar el rendimiento del aceite en el motor. Los hidrocarburos aromáticos son compuestos con carbonos no saturados formados de anillos de seis átomos y con propiedades parecidas al benceno. El aceite de cárter tiene metales como aluminio, cromo, hierro, estaño, níquel, plomo, entre otros. La cantidad de sustancias que hay en el aceite usado de cárter dependen directamente de la marca y el tipo de aceite que se usa (ATSDR, 2016).

Existen industrias que mezclan el aceite usado de cárter con otros aceites para producir diferentes tipos de aceites lubricantes. Este tipo de aceite puede incendiarse a temperaturas entre 300-400 °C lo cual depende directamente la composición química de este. Se utiliza para producir asfalto y antes era utilizado en los caminos de tierra para para controlar el polvo. Las personas que viven cerca de los vertederos pueden estar expuestas al aceite usado de motor; muchas personas cambian el aceite de sus automóviles y se deshacen de el junto con otros desechos domésticos, lo cual para en el vertedero como tal. El aceite que se desecha entra en contacto con el ambiente y puede contaminar: animales, cosechas, mariscos y peces. Si una persona consume alimentos contaminados con aceite de cárter, puede exponerse a los hidrocarburos y metales pesados que este posee (ATSDR, 2016).

Los aceites de motor se dividen según su grado de viscosidad. La viscosidad como bien se sabe es la facilidad con la que fluye el aceite y algunas de las clasificaciones de las viscosidades para los aceites de motor van de 0W-20 a 5W-40. El primer número que termina con la letra W representa Winter; es decir, invierno y esta medición hace referencia con la forma en la que el aceite fluye en el frío. El segundo número, el cual no lleva letra se refiere a la forma en la que el aceite fluye a temperaturas más altas de operación del motor. Entre más pequeño es el número, mejor fluirá el aceite. Por ejemplo, un aceite 5W-30 fluye de mejor manera que un aceite 10W-30 y un 10W-30 fluirá más fácil que un 10W-40 a temperaturas de operación de motor normales. Los aceites de motor se espesan de manera natural cuando se enfrían y se vuelven más ligeros cuando se calientan. Los aceites con baja viscosidad y ligeros fluyen de manera más fácil y estos sirven para proteger las partes del motor a temperaturas frías. Los aceites con alta viscosidad y espesos, son ideales cuando se mantiene la tensión superficial para proteger los motores a altas temperaturas. En la siguiente figura se puede observar algunos de los rangos en los que se dividen los aceites para motor:

Ilustración 2. Rango de aceites para motor dependiendo su grado de viscosidad



(Castrol, 2020).

Existe una gran importancia sobre el nivel de la viscosidad del aceite de motor, ya que esta es vital para que el vehículo tenga un buen funcionamiento. Si el aceite tiene viscosidad muy baja, puede que el aceite se vuelva tan líquido que escurrirá por las ranuras y no generará una película lubricante la cual evita el desgaste en las piezas del motor y tampoco será posible que se eviten las pérdidas de potencia y sobrecalentamiento. Por otro lado, si a viscosidad del aceite de motor es muy alta, el vehículo consumirá más energía si es un carro eléctrico o más combustible si es un carro de combustión interna y el motor podría sobrecalentarse o perder parte de su potencia debido a que no fluye una cantidad suficiente de lubricante en su interior (Scout, 2021).

B. La adsorción

La adsorción es un fenómeno físico donde un fluido ya sea líquido o gaseoso, entra en contacto con un sólido adsorbente y se adhiere a su superficie por medio de una fuerza física (dispersión de London) en dicho proceso no hay intercambio de electrones por lo que es reversible. La quimisorción provoca modificaciones en la estructura química del adsorbente y adsorbato pero sí es reversible. La adsorción se emplea para purificar gases y líquidos; como, por ejemplo: la purificación de agua con carbón activado, en donde este adsorbe moléculas orgánicas (Carbotecnia, 2020).

La absorción es un fenómeno físico en donde hay transferencia de masa y volumen. Se disuelven en líquido uno o varios componentes que están presentes en una mezcla gaseosa.

En este fenómeno no hay cambios químicos, por lo que el proceso es reversible. El soluto puede estar en estado líquido o gaseoso y el solvente casi siempre es un líquido (Carbotecnia, 2020).

Se utiliza la adsorción para tratamiento de agua, por lo que el fenómeno que ocurre es que una capa delgada se adhiere a la superficie del sólido o líquido que está en contacto con ella. Se usa este proceso para tratar el agua potable y removerle sustancias orgánicas. Se utiliza también en el tratamiento terciario de aguas residuales, en la remediación de agua subterránea, para tratamiento de agua para los hogares y para tratamiento de agua que se usa en acuarios o en piscinas. Las sustancias que se pueden remover durante la adsorción son los adsorbatos los cuales pueden ser virus, bacterias, moléculas, más que todo compuestos orgánicos como: pesticidas, solventes, benceno, ácidos y gasolina. El carbón activado es bastante utilizado debido a que este adsorbente puede desodorizar, purificar y decolorar el agua, es por esto que se usan filtros de carbón activado los cuales son capaces de remover algunos metales pesados, compuestos orgánicos volátiles y taninos. Los científicos y administradores de agua son capaces de calcular y utilizar la adsorción para asegurarse que tanto el agua superficial como el agua subterránea no tengan contaminantes y para asegurar que el agua para consumo humano sea segura (FLUENCE, 20216).

Un proceso parecido a la adsorción es el intercambio iónico, pero en este proceso los iones se adhieren a los sitios por medio de las fuerzas electrostáticas en lugar de ser provocados por las fuerzas de Van der Waals. Las resinas se usan para tratar el agua de tipo industrial. Los procesos más comunes en los que se usa el intercambio iónico son para la desmineralización, ablandamiento de agua y la remoción de iones específicos, en estos procesos la resina actúa como filtro (FLUENCE, 20216).

C. Los factores que influyen en la adsorción

Existen diversos factores que afectan la adsorción como: 1) El área superficial del adsorbente, ya que la capacidad de la adsorción es directamente proporcional al área superficial de este; el área superficial hace referencia al área superficial que está disponible para la adsorción como tal. Mientras más fino sea y más poroso sea el adsorbente, mayor será su capacidad de adsorción. 2) La polaridad del adsorbato es importante ya que un soluto polar es adsorbido por un adsorbente polar mientras que uno apolar será adsorbido por uno apolar. Los grupos polares (que se caracterizan por su afinidad al agua) algunas veces hacen que la adsorción disminuya cuando se trabaja con soluciones acuosas. 3) El pH, las moléculas orgánicas forman iones negativos cuando el pH es bastante alto; mientras que cuando el pH es bajo, se forman iones positivos y se forman moléculas neutras a valores intermedios del pH. La adsorción de muchos materiales orgánicos es mucho mayor a condiciones de pH neutros. 4) La temperatura, el efecto de la adsorción puede afectarse de manera directa cuando la temperatura disminuye; por otro lado, aumentar la temperatura puede llegar a aumentar la difusión del soluto, lo que luego puede llegar a causar una mayor adsorción. La adsorción en líquidos influencia de manera directa la afinidad de los disolventes. 5) La porosidad del adsorbente, afecta las condiciones de la superficie interna, por lo que la estructura del poro es importante en la adsorción. La mayoría de los adsorbentes sólidos tienen una estructura compleja la cual está compuesta de poros de distintos tamaños y formas.

De acuerdo con la IUPAC, la porosidad se clasifica en tres grupos: microporos los cuales son 2 nm, mesoporos que van entre 2 y 50 nm y los macroporos, son los poros mayores a 50 nm; en otras clasificaciones se utiliza la clasificación de ultra-microporos los cuales son los que tienen una anchura menor a 0.7 nm. 6). El comportamiento de la adsorción depende completamente de las características químicas de la superficie del adsorbente (Rodríguez *et al.*, 2014).

El tamaño de partícula influye en la capacidad de sorción de los adsorbentes, ya que entre más pequeño sea dicho tamaño, mejor será la adsorción que los materiales tendrán; es decir que la capacidad de la sorción aumenta conforme disminuye el tamaño de la partícula, ya que su relación es inversamente proporcional (Esperanza, 2017).

Tiempo de goteo es el tiempo en el que el sorbente se remueve de la mezcla aceite-agua y se deja en espera que este deje de gotear un exceso de aceite. Este tiempo es importante ya que este se ve afectado por la gravedad la cual fomenta que el sorbente pueda destilarse por completo, este tiempo finaliza cuando la gravedad ya no es fuerte como para provocar que siga goteando el sorbente, lo cual conlleva al tiempo de no goteo (Bazargan *et al.*, 2015).

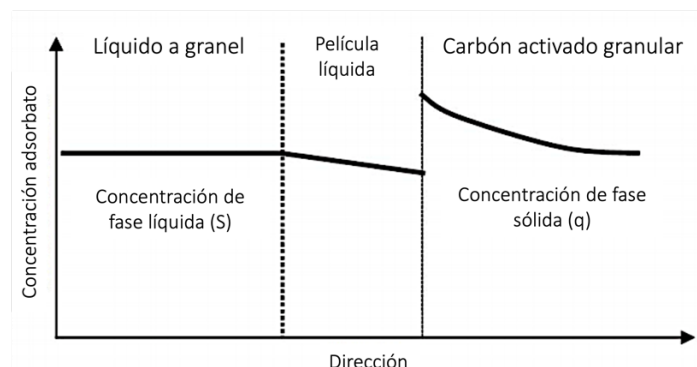
Tiempo de contacto es el tiempo en el que el sorbente está en contacto directo con el líquido. Se desea que dicho tiempo sea lo suficiente para que el sorbente logre su máxima capacidad de adsorción de aceite (Bazargan *et al.*, 2015).

Tiempo de no goteo es el punto en el que la gravedad ya no es fuerte como para provocar que siga goteando el sorbente (Bazargan *et al.*, 2015).

La capacidad de adsorción de equilibrio (C_e) es la capacidad en el punto en donde ya no hay gotas de líquido que puedan seguir goteando. Tiempo de equilibrio (t_e) es lo mismo que el tiempo de no goteo (Bazargan *et al.*, 2015).

La difusión externa en la adsorción es el fenómeno en el que el transporte de la masa pasa a través de la capa límite hidrodinámica lo cual se da por la difusión molecular en la cual la fuerza motriz es la diferencia de las concentraciones, la cual se puede observar en el siguiente gráfico:

Ilustración 3. Dirección vs concentración de adsorbato



(Cecen, 2012).

La difusión intraparticular (interna), es la que depende las condiciones hidrodinámicas del sistema, pero también depende del tamaño y de la estructura del poro de la partícula como tal. La difusión superficial o sólida, es en la que se difunden los solutos a través de la superficie del adsorbente luego que la adsorción ya haya ocurrido, esta difusión ocurre solamente cuando las fuerzas superficiales de atracción no son tan fuertes para evitar la movilidad superficial de las moléculas. La difusión en macroporos y en microporos se denomina difusión en poro y difusión superficial, respectivamente. Ambas difusiones ocurren de manera paralela en el interior de la partícula del adsorbente (Rodríguez, *et al* 2014).

D. Los tipos de materiales

Los adsorbentes sintéticos, tienen una capacidad de adsorción bastante alta pero su costo es más elevado que los que no son sintéticos. Muchas veces los adsorbentes que son naturales tienen una menor capacidad de adsorción comparado con los sintéticos, pero son más baratos y de acceso fácil (Piedra, Obando, y Esquivel, 2016).

Los líquidos miscibles son todos aquellos líquidos presentes en una mezcla, que se disuelven por completo uno en otro. Es posible que se mezclen en diversas proporciones y estos no se llegan a separar en distintas capas que se pueden observar al ver directamente el contenedor que posea la mezcla (Burns, 2003).

Los líquidos inmiscibles son los que, al estar presentes en mezcla a pesar de ser agitados, no se unen a los demás líquidos. Estos forman una capa turbia la cual posee gotas de pequeño tamaño suspendidas en el otro líquido. Estos se pueden llegar a separar en diferentes capas si se deja en reposo el contenedor con la mezcla (Burns, 2003).

El polipropileno es un polímero termoplástico que se utiliza bastante, debido a que este posee resistencia hacia muchos productos químicos. Este es el más ligero de todos los plásticos. Es similar al polietileno, pero tiene más resistencias: térmica, a la atracción y a la abrasión; asimismo, este es un compuesto hidrofóbico; es decir, que no es compatible con el agua ya que no es capaz de adsorberla (Fink, 1981).

Ilustración 4. Información técnica del polipropileno

Propiedades físicas	Valor	Unidad	Comentario
Gravedad específica	0.91	g/cm^3	ASTM D792
Adsorción de agua	≤ 0.010	%	Sumergido, 24hr; ASTM D570
	≤ 0.010	%	Saturación en Agua (23°C), ASTM D570
Propiedades térmicas	Valor	Unidad	Comentario
Fusión	164	° C	Máximo cristalino; ASTM D3418
Máxima temperatura de servicio	82	° C	Temperatura del aire continuo
Deflexión a 1.8 MPa	98	° C	ASTM D648
Inflamabilidad	HB		Espero 3.17 mm
Propiedades de resistencia química	Valor	Unidad	Comentario
Ácidos fuertes	Aceptable	--	pH 1-3
Ácidos débiles	Aceptable	--	
Alcohol	Aceptable	--	
Alcalinos fuertes	Aceptable	--	pH 11-14
Disolventes clorados	No Aceptable	--	
Exposición al sol constante	Limitada	--	
Agua caliente	Limitada	--	
Hidrocarburos alifáticos	No Aceptable	--	
Hidrocarburos aromáticos	No Aceptable	--	
Soluciones salinas inorgánicas	Aceptable	--	
Cetonas y esteres	No Aceptable	--	

(emacin, 2019).

Los termoplásticos, son todos los polímeros que son lineales o que tienen pocas ramas en su estructura. Estos pueden fluir a presión o también por arriba de su punto de fusión; asimismo, pueden moldearse cuantas veces se quiera, por medio de calor. El reciclaje de estos plásticos es bastante sencillo. Cuando se habla de reciclaje mecánico casi siempre se hace referencia a la forma en la que se reciclan este tipo de plásticos. Representan un 80% de los plásticos que se producen en la actualidad, entre estos están: HDPE, LPDE, PET, PP, PS, PVC (Castells y Jurado, 2012).

Adsorbente granular es todo aquel adsorbente que se usa para la limpieza de los derrames de líquidos, embalaje de laboratorio y también sirve para brindarle estabilidad a los líquidos que estén libres. Muchas veces se utilizan los polímeros neutralizantes los cuales se usan para los derrames de ácidos de baterías y cuando estos presentan un cambio de color comparado a su color sin haber adsorbido antes, lo cual significa que se ha producido la neutralización del ácido. Este tipo de adsorbente es ideal en los casos en los que las almohadillas o rollos de telas adsorbentes, no posean un ajuste adecuado; un ejemplo de estos es: adsorción de líquidos en grietas o en superficies irregulares (Melcsa, 2020).

E. La disposición de los desechos

El significado de reciclado es utilizar un material de manera similar a su uso original. Reusar es que el material se siga usando para su destino original, pero sin que se altere. Recuperar por otro lado es que se les extraigan materiales o energía a residuos para usarlo para otro propósito (Cantoni, 2010).

El proceso de la incineración es una forma para tratar los residuos, por lo que en este proceso se queman los materiales orgánicos que están en los residuos. Este es un proceso que es clasificado como tratamiento térmico. Los desechos se convierten en cenizas, gases de combustión y calor. Los gases de combustión deben limpiarse de las partículas y contaminantes gaseosos antes que estos se liberen al aire. El calor que se genera durante la incineración se aprovecha para producir electricidad. Las plantas de incineración pueden llegar a reducir la masa de los desechos un 96%, dicha disminución se rige por la descomposición de las sustancias. Una de las ventajas de la incineración es el uso de la tecnología para convertir residuos en energía. La incineración de desechos sólidos tiene mucha menos probabilidad de contaminar al medio ambiente comparado con los rellenos sanitarios, esto debido a que los rellenos sanitarios liberan grandes cantidades de gases de efecto invernadero y estos también fomentan a la contaminación de los sistemas de agua subterránea por la filtración de diversos químicos tóxicos (Decología, 2021).

F. Descripción de los adsorbentes utilizados

Ilustración 5. Especificaciones de materiales adsorbentes

Tipo de adsorbente	Material	Tamaño	Porosidad	Especificaciones de uso
Almohadilla de fibras recicladas	Compuesto de fibras sintéticas recicladas las cuales son oleofílicas, lo cual permite eliminar de manera eficiente los aceites del agua.	Tela con un tamaño de 5x250 pies	140 micrómetros	Excelente para usar como separador de aceite/agua, en sistemas de filtración de aguas pluviales y de aguas residuales y en aplicaciones de "pulido" de agua.
Almohadilla de polipropileno	Compuesto de un material no higroscópico; por lo que, el agua no penetra el material si no que solamente permanece en la superficie de este	Paquete de 100 almohadillas de 15x19 pulgadas cada una	7.5 pulgadas	Especialmente diseñados para limpiar aceites y líquidos a base de petróleo al mismo tiempo que repele agua dejando esta flotando indefinidamente. No se ve afectado por la temperatura.
Granular de fibras de coco	Polvo granular constituido de fibras de coco, las cuales promueven la adsorción del aceite de motor debido a su composición ya que son hidrofóbicas.	Tarro de 358 gramos	No indica	Adsorbente orgánico que permite contener líquidos industriales. No Tóxico y de fácil manejo. Ideal para la limpieza de aceites, hidrocarburos. No se hunde aun cuando se encuentra saturado con aceites.

(Brady, 2017) y (UltraTech, 2021).

G. Los equipos utilizados

La balanza analítica se utiliza para medir masas de diferentes rangos, desde miligramos hasta 15 gramos (dicho rango depende del modelo y tipo de balanza) y su precisión casi siempre se encuentra en ± 0.001 g. La forma en la que se utiliza consta de 6 pasos: 1) Prender la balanza y esperar que en la pantalla salga 0.000 g 2) Colocar un vidrio de reloj o cristalería que se desee medir y luego se deben cerrar las ventanillas 3) Presionar el botón de tarar y en la pantalla saldrá 0.000g 4) Colocar la muestra y anote la lectura 5) Retirar la muestra 6) Apagar la balanza y en caso de que se deba limpiar la balanza debido a que se haya caído un poco de muestra, se debe limpiar esta usando un pincel o brocha que sea delgada (Segal, 2005).

Los experimentos a microescala, significa que se reducen 6 veces la magnitud de la unidad que se llegue a utilizar. Cuando se toman las unidades: masa (kg) y volumen (m³), a microescala se debe referir a estas anteriores como mg y mL. Muchas veces microescala se refiere a realizar experimentaciones en el rango de 25-250 mg para los sólidos y de 0.05-3 mL para disoluciones. El rango como tal no está estrictamente definido. Las operaciones a pequeña escala resultan útiles debido a que al realizar estas es posible obtener beneficios sobre las experimentaciones a gran escala, ya que se ahorra tiempo, es más segura, hay menos costos de operación, mayor facilidad para reciclar, entre otras (Arnaiz, 2014).

El equipo HACH DR3900, es un espectrofotómetro para analizar el agua. Este sistema ofrece resultados con alta exactitud y ayuda al operario en cada paso. Las opciones que tiene son la preparación de la muestra que son los pasos de la manipulación de esta y la dosificación precisa de esta, análisis de la muestra en donde reconoce la prueba, fecha de caducidad, entre otras opciones, y la documentación de los resultados es donde gestiona los datos y las tarjetas de control. El equipo es capaz de realizar análisis sobre los parámetros como por ejemplo: control de amonio, DQO, fosfato y nitrógeno. Tanto las pruebas como el fotómetro están diseñados para que no existan errores en el análisis del agua (HACH, 2021).

HACH HQ 40d Multimedidor, posee dos canales de pH, ORP, TDS, LDO, conductividad, ISE, salinidad y resistividad. Este es un instrumento básico que tiene electrodos o medidores, los cuales dan flexibilidad, fiabilidad y hacen fácil el uso del equipo. Los electrodos INTELLICAL que son intercambiables, reconocen de manera automática los datos y los almacenan. Existen versiones que son resistentes para utilizarse para el exterior lo cual los hace indestructibles; asimismo, tienen cables largos para realizar mediciones en lugares poco accesibles (HACH, 2021).

El HACH 2100 AN Turbidímetro, es un equipo fácil de utilizar y es un sistema óptimo patentado. Es eficaz y fiable para diversos análisis. Este modelo ofrece una lámpara de filamento de tungsteno de luz blanca y cumple con el método EPA 180. 1. Las configuraciones que facilitan los análisis son: el sistema óptimo RATIO de 3 detectores, calibración automática en 5 puntos y la conmutación automática del rango de medida (HACH, 2021).

El equipo HACH DR/2010 espectrofotómetro, es un equipo de haz único que se controla por medio de un micropcesador y se usa para hacer comprobaciones colorimétricas en el laboratorio o en el lugar donde se realice el análisis. El equipo fue calibrado para realizar más de 120 mediciones colorimétricas distintas, lo cual hace posible realizar calibraciones que sean útiles para los métodos que el usuario llegue a crear y para los demás métodos que el HACH posee (HACH, 2020).

H. La contaminación del agua

La contaminación del agua es causada por diversos contaminantes, pero todo estos tienen impactos de distintos grados sobre el agua, es decir, que tanto o no se puede recuperar esta. Por otro lado, lo que sí tienen en común dichos contaminantes es que le quitan la capacidad al agua para que pueda ser digerida por los seres humanos sin que estos contraigan alguna enfermedad o hasta la muerte. Algunos de los tipos que generalmente contaminan el agua son:

Ilustración 6. Tipos de contaminantes del agua

Tipo de contaminante	Impacto
Elementos traza	Salud, biótica acuática, toxicidad
Metales pesados	Salud, biótica acuática, toxicidad
Metales enlazados orgánicamente	Transporte de metales
Radionúclidos	Toxicidad
Contaminantes inorgánicos	Toxicidad, biota acuática
Asbesto	Salud humana
Nutrientes de algas	Eutrofización
Sustancias que dan acidez, alcalinidad, salinidad (en exceso)	Calidad del agua, vida acuática
Contaminantes orgánicos traza	Toxicidad
Medicamentos, anticonceptivos, etc	Calidad del agua, vida acuática
Bifenilos policlorados	Posibles efectos biológicos
Plaguicidas	Toxicidad, biota acuática, fauna
Residuos de petróleo	Efectos en la fauna, contaminación visual
Alcantarillado, residuos humanos y de animales	Calidad del agua, niveles de oxígeno
Materia orgánica medida como demanda bioquímica de oxígeno	Calidad del agua, niveles de oxígeno
Patógenos	Efectos en la salud
Detergentes	Eutrofización, fauna, contaminación visual
Compuestos carcinógenos químicos	Incidencia de cáncer
Sedimentos	Calidad del agua, vida acuática, fauna
Sustancias que dan sabor, olor y color	Calidad del agua, vida acuática, contaminación visual

(Manahan, 2006).

El pH es un parámetro importante en el agua, por lo que es necesario controlarlo. En un agua que es neutra, hay misma cantidad de iones de hidrógeno: H^+ y iones hidroxilo: OH^- , dicha agua tiene un pH de 7.0 lo cual indica que dicha cantidad de iones es igual. Una concentración mayor de hidrógeno que de hidroxilos, provoca un pH menor a 7 a la cual se le denomina ácida. Por otro lado, el agua que tiene un pH mayor a 7, se le denomina básica debido a que tiene una mayor concentración de OH^- que de H^+ (naturalchlor, 2021).

La turbidez en el agua es un parámetro que tiene relación con la transparencia y limpieza del agua. Este parámetro también depende de la cantidad de sólidos suspendidos en el agua como tal, lo cual puede ser provocado por la actividad biológica como tal o por componentes no deseados. La turbidez hace más difícil el tratamiento con luz ultravioleta o la cloración. El instrumento que se utiliza es el nefelómetro o turbidímetro, los cuales son equipos que miden la intensidad de la luz dispersada en 90 grados cuando un rayo de luz pasa por la muestra del agua (Pancorbo, 2010).

El DQO (demanda química de oxígeno) se expresa en mg/L O₂. Este parámetro se utiliza mucho para las aguas residuales municipales o para los vertidos industriales, como industrias papeleras, empresas agroalimentarias, entre otras. El agua que posea grandes cantidades de DQO que no se trata puede llegar a provocar que ocurra eutrofización, lo cual causa muerte en las especies que viven en el agua (Aquanova, 2021).

El DBO (demanda biológica de oxígeno) indica la cantidad de oxígeno que los seres vivos necesitan para poder consumir la materia orgánica que se encuentra en el agua. Si hay altos valores de DBO, se provoca la eutrofización del agua, lo cual causa la muerte de especies marinas como los peces los cuales mueren por el consumo de agua por bacterias (Aquanova, 2021).

I. La estadística

Porcentaje de error es un indicador el cual se expresa en porcentaje y este tiene como fin comparar los valores obtenidos experimentalmente con la literatura que se toma como valor teórico. Este se utiliza con el fin de evaluar qué tan alejados están los datos experimentales de los valores teóricos; es decir, entre menor sea el valor de este indicador, más se estará cerca de los valores teóricos (Aguirre, 1994).

El análisis estadístico, sirve para los trabajos o estudios en donde se poseen muchos datos, los cuales se deben analizar. El primer paso es saber qué hacer con la información que se obtiene, y es por esto que es necesario utilizar un análisis de estadística, el cual tiene como fin resolver la problemática que se tenga en el estudio que se realizará. Asimismo, este se utiliza como herramienta para poder cumplir con los objetivos del estudio o con las hipótesis que se desean refutar o afirmar. Este se debe apoyar en la estadística, ya que es de bastante importancia darle un correcto uso a los resultados que se obtengan para brindar así una solución a los problemas que se generan durante una investigación o los que desde un principio se tienen determinados; es decir, las causas del fenómeno de estudio. El análisis estadístico también se utiliza para ver la relación de las variables que se definen previamente

en el estudio y de esta manera definir si hay o no alguna relación entre ellas. La relación entre las variables puede o no ser lineal por lo que se pueden utilizar modelos lineales, exponenciales, cúbicos, entre otros. La importancia de todo lo antes mencionado, es que es posible comparar métodos, modelos o productos. Asimismo, es posible comparar las variables o modelos, utilizando estadísticos como Q de Yule, corrección de Fisher, chi-cuadrado, coeficiente de contingencia o el coeficiente phi, todo con el mismo fin de poder obtener datos que ayuden a generar un resultado al estudio con el que se desea trabajar y resolver (Bauce, 2000).

La media aritmética es un valor importante de una variable, ya que proporciona una medida central de los datos. Si los datos son para una muestra la media se denota con la letra x mientras que los datos para una población se denotan con la letra griega μ . En las fórmulas de estadística se le coloca x al primer valor del primer dato, mientras que x_2 al segundo valor del segundo dato y así sucesivamente hasta que el valor del i -ésimo dato se representa por medio de x_i (Sweeney, 2012).

J. Ecuaciones

Capacidad de sorción:

$$(1) \frac{m_t - m_s}{m_s}$$

Donde:

C: Capacidad de sorción (g de petróleo/ g de adsorbente)

m_t : Masa adsorbente seco y petróleo adsorbido (g)

m_s : Masa del adsorbente seco (g)

(Castillo, 2017).

Propagación de error para multiplicación y división:

$$(2) \quad s_y = \sqrt{\left(\frac{s_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{s_b}{b}\right)^2} * y$$

Donde:

s_a : error relativo de a

s_b : error relativo de b

a: valor de a

b: valor de b

y : producto entre a y b

(Anderson *et al.*, 2012).

Propagación de error para sumas y restas:

$$(3) s_y = \sqrt{(S_a)^2 + (S_b)^2}$$

Donde:

S_a : error relativo de a

S_b : error relativo de b

(Anderson *et al.*, 2012).

Ecuación para curva de calibración:

$$(4) y = mx + b$$

Donde:

Y: Valor de y

M: pendiente

X: Valor de x

b: Intercepto

Porcentaje de error:

$$(5) \frac{|\text{valor teórico} - \text{valor experimental}|}{\text{valor teórico}} * 100$$

(Anderson *et al.*, 2012).

Media aritmética:

$$(6) \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Donde:

$\sum x_i$: suma de datos

n: total de datos

(Anderson *et al.*, 2012).

Método de Freundlich:

I. Concentración en el equilibrio:

$$(7) C_e = (g_e)(v_e)$$

Donde:

C_e : concentración en el equilibrio (mg/L)

g_e : cantidad de gramos en el equilibrio de adsorbato (mg)

v_e : volumen de solución en la que se encuentra el adsorbato (L)

II. Diferencia entre la concentración inicial y la concentración en equilibrio:

$$(8) x = c_0 - c_e$$

Donde:

x : diferencia entre la concentración inicial y la concentración en el equilibrio (mg/L)

c_0 : concentración inicial (mg/L)

c_e : concentración en el equilibrio (mg/L)

III. Valor de concentración de adsorbato en adsorbente:

$$(9) q = x/m$$

Donde:

q : concentración de adsorbato en adsorbente (mg/g)

x : diferencia entre la concentración inicial y la concentración en el equilibrio (mg/L)

m : masa del adsorbente (g)

IV. Logaritmo de X:

$$(10) \log C$$

Donde:

C : concentración de adsorbato (mg/L)

V. Logaritmo de Y :

$$(11) \log \frac{C}{q}$$

Donde:

$\frac{C}{q}$: concentración de adsorbato adsorbido por el adsorbente (mg/L)

(Treybal, 1997) y (Young, 2021).

Tamaño de muestra:

$$(12) \text{ Tamaño de muestra} = 2SD^2(Z^{\alpha/2} + Z^{\beta/2})^2/d^2$$

Donde:

SD : desviación estándar

$Z^{\alpha/2}$: valor z del nivel de significancia

$Z^{\beta/2}$: valor z del poder de significancia

d : mínima diferencia de valor control y experimental

(Anderson *et al.*, 2012).

VI. ANTECEDENTES

Tanto las malas prácticas de descarte de aceite de motor hacia los desagües provocado por el poco cuidado y la poca consciencia de las personas para descartar los desechos de manera correcta. Ha provocado la contaminación de lagos y ha perjudicado la salud de las personas. Las consecuencias de ingerir agua contaminada con aceite de motor usado pueden llegar a ser tan severas como provocar la muerte de las personas.

Para lograr erradicar lo anterior, se han patentado diversos adsorbentes, algunos completamente sintéticos y otros a partir de desechos orgánicos. Los adsorbentes sintéticos tienen una ventaja sobre los orgánicos debido a su alta capacidad de sorción, pero de igual manera los adsorbentes orgánicos son una innovación prometedora debido a que su capacidad de sorción no es tan baja como se esperaría que fuera. La necesidad de desplazarse de materiales completamente sintéticos a materiales naturales ha provocado que se busquen alternativas que sean de fácil acceso y que sean capaces de adsorber aceites e hidrocarburos, como lo es la fibra de coco (Abanto y Martin, 2018).

Se han realizado diversas investigaciones de compuestos naturales para reducir el impacto de los derrames provocados por aceites y crudos de petróleo. Las pruebas para la evaluación de la capacidad de los adsorbentes son diversas, pero ya existen estándares más específicos y detallados para determinar la verdadera capacidad de estos y de esta manera obtener resultados del comportamiento de los materiales como adsorbentes. Por esta razón, se han creado normas para las pruebas de rendimiento de los sorbentes de aceite. Es por esto que los investigadores Alireza Bazargan, Jun Tan y Gordon Mckay han propuesto soluciones a para la evaluación de los materiales adsorbentes a partir de las normas ASTM F716-09 y ASTM F26-12 las cuales tienen como propósito estudiar y determinar el rendimiento adsorbente/adsorbente y las pruebas para la capacidad de sorción; pero la desventaja de dichas normas es que la mayoría de los investigadores no las utilizan debido a que estas normas tienen algunas deficiencias las cuales son poco atractivas para los investigadores y es por esto que Bazargan, Tan y Mckay han propuesto un estándar para el uso de las normas para darle solución a las deficiencias que tiene esta, para que de esta manera se generen resultados homogéneos y precisos (Bazargan *et al.*, 2015).

Las investigaciones anteriores tienen como objetivo estudiar el comportamiento de distintos materiales para erradicar la problemática de los derrames de aceites y el mal descarte de estos en los cuerpos de agua. Es por esta razón que se han estudiado materiales tanto sintéticos como naturales para combatir la problemática de la contaminación del agua y poder evitar perder por completo este recurso.

VII. MATERIALES Y EQUIPO

- 1 Beaker 50 ml
- 1 Envase de 250 ml
- 1 Cuchara plástica
- 1 Cedazo de 40x40 in (40 cuadros por pulgada)
- Agua desionizada
- 1 Pipeta graduada de 3mL
- 1 Paquete de nutrientes para análisis de DBO
- 1 Encubadora
- 1 Plato de plástico
- 1 Pipeteador
- 1 Estufa
- 1 Frijol magnético
- 1 Vidrio de reloj
- 1 Probeta 500 mL
- 1 Balanza analítica
- 1 Picnómetro
- 1 Espectrofotómetro
- 1 Tamizador tipo shaker
- 1 Balanza de humedad
- 1 Cronómetro
- 1 Regla
- 1 Embudo
- 1 Termómetro
- COD para análisis de DQO
- HACH DR 890
- 1 pH marca Hanna
- 2 Beakers 100 mL
- 1 Gradilla
- 1 frasco de adsorbente granular orgánico
- 2 muestra de adsorbente tipo almohadilla de fibras recicladas
- 2 muestra de adsorbente tipo almohadilla de Polipropileno

VIII. METODOLOGÍA

A. Metodología empleada para selección de adsorbentes utilizados en el estudio

1. En este estudio se utilizaron tres adsorbentes proporcionados por dos empresas (Brady y UltraTech), los cuales tuvieron las siguientes características:
 - Dos adsorbentes en forma de almohadillas con capacidades de sorción similar.
 - Los dos adsorbentes tipo almohadilla son oleofílicos.
 - Un adsorbente granular, es orgánico (proviene de algún residuo orgánico como lo es la fibra de coco).
 - Los tres adsorbentes ya se ha estado utilizando en actividades similares.
2. Se realizaron cálculos previos a la parte experimental, para evaluar cada uno de los adsorbentes. Se puede observar el cálculo para la cantidad de muestras necesarias y cantidad de corridas para cada uno de los adsorbentes en la parte de anexos en cálculos de muestra No. 21 página (78).

B. Selección de adsorbentes, cantidades de adsorbentes y volúmenes empleados:

1. La selección de los adsorbentes empleados en este estudio se basó en los documentos “USO DE LA FIBRA DE COCO PARA LA ADSORCIÓN DE DIFERENTES MUESTRAS DE HIDROCARBUROS -AGUA Y SU RELACIÓN CON LA SALINIDAD Y TEMPERATURA” y “Mantas oleofílicas hidrofóbicas”.
2. A partir del documento “ADSORBENTES NATURALES EN LA MITIGACIÓN DEL IMPACTO ADVERSO CAUSADO POR DERRAMES DE CRUDO EN FUENTES HÍDRICAS” se utilizaron las cantidades de adsorbentes empleadas en este trabajo.
3. El documento “ADSORBENTES NATURALES EN LA MITIGACIÓN DEL IMPACTO ADVERSO CAUSADO POR DERRAMES DE CRUDO EN FUENTES HÍDRICAS” y del documento “Standardization of Oil Sorbent Performance Testing” se utilizaron como guía para las variaciones de los volúmenes de la mezcla inmisible agua-aceite.
4. El documento ADSORBENTES NATURALES EN LA MITIGACIÓN DEL IMPACTO ADVERSO CAUSADO POR DERRAMES DE CRUDO EN FUENTES HÍDRICAS” y del documento “Standardization of Oil Sorbent Performance Testing” sirvieron como guía para los tiempos de contacto entre el adsorbente y la mezcla inmisible, utilizados en este trabajo.

C. Evaluación de densidad y viscosidad de la muestra de aceite al realizar las adsorciones

1. Antes realizar las adsorciones realizarle pruebas de densidad y viscosidad a la muestra de aceite de motor que se utilizará para determinar las características del aceite que con el que se trabajará.
2. Para la prueba de la viscosidad, utilizar una probeta de 100 mL, un embudo, cronómetro y un beaker de 50 mL. Para verter 50 mL de aceite en la probeta por medio del embudo y determinar el tiempo de caída para luego determinar la viscosidad del aceite.

3. Para la prueba de densidad, pesar el picnómetro bien seco y luego pesarlo con el aceite, medir la temperatura y determinar la densidad del aceite.

D. Evaluación de mantas adsorbentes: pruebas con cambios en la relación de los volúmenes

1. Cortar las mantas en cuadros de 7 cm x 7 cm cada una y así generar un total de 21 cuadrados de cada adsorbente. Debido a que se hará en triplicado cada prueba.
2. Tarar un vidrio de reloj.
3. Colocar papel periódico y usar guantes para no manchar el área de trabajo.
4. Pesar los tres cuadros de manta sin nada, sobre el vidrio de reloj previamente tarado.
5. Preparar mezcla inmiscible de agua con aceite usando un envase de vidrio de 150 mL mínimo. Hacer pruebas con los siguientes volúmenes de aceite: 50, 30 y 10 mL en combinación de 50 mL de agua. Los volúmenes empleados se tomaron como referencia de trabajos anteriores los cuales realizaron estudios de materiales para determinar su capacidad de adsorción. Se recomienda utilizar un envase propio, el cual se utilizará para que el exceso del aceite luego de la adsorción pueda caer (dicho envase se utiliza para que pueda ser manchado de aceite) y de esta manera evitar la contaminación de cristalería en el laboratorio.
6. Utilizando una probeta de 100 mL para servir el agua primero y luego un beaker 50 mL, para medir el aceite de motor. Verter ambos volúmenes dentro del recipiente de 150 mL. Se recomienda usar un Beaker específico para medir el aceite para evitar la contaminación de cristalería en el laboratorio.
7. Sumergir el primer cuadro de manta adsorbente en el envase de vidrio de 150 mL con la mezcla aceite-agua, sosteniendo el adsorbente con un gancho para ropa y un gancho de madera agarrando al anterior, y así inducir la adsorción al sumergir el adsorbente y hacer la remoción de este mismo más fácil.
8. Comenzar a tomar tiempo con un cronómetro.
9. Determinar el punto de adsorción del adsorbente.
10. Colocar la manta en un palo de madera y colgarla de manera que comience a escurrir y tomar el tiempo para determinar el tiempo de goteo.
11. Esperar que la manta deje de escurrir aceite para el siguiente paso (se llegue al tiempo de no goteo).
12. Tarar una tapadera de plástico.
13. Retirar el adsorbente luego de haber escurrido y pesar este mismo en la tapadera previamente tarada.
14. Anotar los tiempos y pesos para los cálculos posteriores.
15. Realizar todos los pasos anteriores con los otros dos pedazos y los otros dos volúmenes y el otro adsorbente.
16. Saltarse al paso 16 de estar realizando la sobresaturación de las mantas.
17. Verter la mezcla de aceite-agua sobrante en un contenedor plástico sellado y rotulado para su posterior desecho.
18. Colocar los adsorbentes utilizados en un contenedor de plástico sellado para su posterior desecho.

E. Evaluación de mantas adsorbentes: Pruebas con cambios en el tiempo de contacto

1. Cortar las mantas en cuadros de 7 cm x 7 cm cada una y así generar un total de 21 cuadros de cada adsorbente. Debido a que se hará en triplicado cada prueba.
2. Tarar un vidrio de reloj.
3. Colocar papel periódico y usar guantes para no manchar el área de trabajo.
4. Pesar los cuatro cuadros de manta sin nada, sobre el vidrio de reloj previamente tarado.
5. Preparar mezcla inmiscible de agua con aceite usando un envase de vidrio de 150 mL mínimo: comenzar con 50 mL de agua y 50 mL de aceite. Utilizando una probeta de 100 mL para servir el agua primero y luego un beaker 50 mL, para medir el aceite de motor. Se recomienda utilizar un volumen de 50 mL de aceite para asegurarse que se sobresaturara este, como se recomienda trabajar en el documento "*Standardization of Oil Sorbent Performance Testing*".
6. Verter ambos volúmenes dentro del recipiente de 150 mL. Se recomienda utilizar un envase propio, el cual se utilizará para que el exceso del aceite luego de la adsorción pueda caer (dicho envase se utiliza para que pueda ser manchado de aceite) y de esta manera evitar la contaminación de cristalería en el laboratorio. También se recomienda usar un Beaker específico para medir el aceite para evitar la contaminación de cristalería en el laboratorio.
7. Sumergir el primer cuadro de manta adsorbente en el envase de vidrio de 150 mL con la mezcla aceite-agua, sosteniendo el adsorbente con un gancho para ropa y un gancho de madera agarrando al anterior, y así inducir la adsorción al sumergir el adsorbente y hacer la remoción de este mismo más fácil.
8. Comenzar a tomar tiempo con un cronómetro. Ir cambiando los tiempos de contacto de 2, 4, 6 hasta 8 min.
9. Determinar el punto de adsorción del adsorbente.
10. Colocar la manta en un palo de madera y colgarla de manera que comience a escurrir y tomar el tiempo para determinar el tiempo de goteo.
11. Esperar que la manta deje de escurrir aceite para el siguiente paso paso (se llegue al tiempo de no goteo).
12. Tarar una tapadera de plástico.
13. Retirar el adsorbente luego de haber escurrido y pesar este mismo en la tapadera previamente tarada.
14. Anotar los tiempos y pesos para los cálculos posteriores.
15. Realizar todos los pasos anteriores con los otros 3 pedazos y el otro adsorbente.
16. Verter la mezcla de aceite-agua sobrante en un contenedor plástico sellado y rotulado para su posterior desecho.
17. Colocar los adsorbentes utilizados en un contenedor de plástico sellado para su posterior desecho.

F. Determinación del tamaño de partícula de adsorbente granular

1. Precalentar la estufa previo a realizar las pesadas y evitar atrasos.
2. Tarar un Beaker o recipiente de 200 mL.
3. Precalentar la estufa a 120 °C.

4. Pesar 50 gramos de adsorbente en el recipiente previamente tarado.
5. Colocar el sólido en una bandeja con papel abajo, para luego mover el sólido de la bandeja.
6. Calentar el sólido en la bandeja en la estufa a 120 °C por 20 minutos.
7. Pesar cada uno de los platos del tamizador sin sólido.
8. Colocar en orden los platos para utilizarlos.
9. Medir la humedad del sólido, retirando una muestra de este y utilizando una balanza de humedad. Retirar el sólido de la estufa si se llega a una humedad menor a 12%.
10. Colocar el sólido sin humedad en la parte superior del plato que esta hasta arriba.
11. Colocar el equipo para tamizar por 10 minutos.
12. Retirar cada uno de los platos y pesarlos para determinar el porcentaje de sólido retenido en cada uno.
13. Limpiar los platos con aire comprimido. Se recomienda que cuando se limpien los platos con aire comprimido evitar pegar la manguera del aire comprimido al plato para evitar que este se raye.

G. Evaluación adsorbente granular: pruebas con cambios en la relación de los volúmenes

1. Cortar 3 cuadros de 7x7 cm del cedazo de 150 μm de tamaño de apertura y numerarlos.
2. Pesar un vidrio de reloj, cedazos y una tapadera plástica.
3. Colocar papel periódico y usar guantes para no manchar el área de trabajo.
4. Con una espátula, pesar 1 gramo de adsorbente granular en el vidrio de reloj.
5. Preparar mezcla inmiscible de agua con aceite usando un envase de vidrio de 150 mL mínimo. Hacer pruebas con los siguientes volúmenes de aceite: 50, 30 y 10 mL en combinación de 50 mL de agua. Utilizando una probeta de 100 mL para servir el agua primero y luego un beaker 50 mL, para medir el aceite de motor. Verter ambos volúmenes dentro del recipiente de 150 mL.
6. Colocar la mezcla de aceite usado y agua en el envase de plástico de 150 mL.
7. Añadir el adsorbente granular en el primer cedazo. Evitar que se pierda cantidad de sólido cuando este se deposite en el cedazo y cuando se vierta la mezcla en sobre este, por lo que se recomienda que se sostenga dicho cedazo en el recipiente de 150 mL con masking tape, de manera que quede en forma de bowl, para evitar que este se mueva y se pueda caer cantidad del adsorbente granular.
8. Verter la mezcla en el cedazo con el adsorbente granular, de manera que la separación ocurra por gravedad, colocando otro envase de vidrio 150 mL debajo del cedazo para que esta manera el agua y aceite (que no se logre adsorber) se viertan por gravedad.
9. Comenzar a tomar tiempo con un cronómetro.
10. Determinar el punto de saturación del adsorbente cuando ya se no sea posible recuperar aceite de la mezcla inmiscible de agua con aceite usado.

11. Esperar que el sólido deje de escurrir aceite para el siguiente paso (se llegue al tiempo de no goteo).
12. Retirar el cedazo con el adsorbente granular y colocarlo en la tapadera de plástico para pesarlo en una balanza analítica para determinar la diferencia de masa y de esta manera determinar la capacidad de adsorción del adsorbente granular.
13. Realizar todos los pasos anteriores con los otros dos cuadros de cedazos previamente cortados y los otros dos volúmenes.
14. Verter la mezcla de aceite-agua sobrante en un contenedor plástico sellado y rotulado para su posterior desecho.
15. Colocar los cedazos con el adsorbente granular en bolsa ziploc para su posterior descarte.

H. Evaluación adsorbente granular: Pruebas con cambios en el tiempo de contacto

1. Cortar cuatro cuadros de 7x7 cm de cedazos de tamaño 40x40 in (40 cuadros por pulgada) y numerarlos.
2. Con una espátula, pesar 1 gramo de adsorbente granular en el vidrio de reloj.
3. Preparar mezcla inmiscible de agua con aceite usando un envase de vidrio de 150 mL mínimo: comenzar con 50 mL de agua y 50 mL de aceite. Utilizando una probeta de 100 mL para servir el agua primero y luego un beaker 50 mL, para medir el aceite de motor. Se recomienda utilizar un volumen de 50 mL de aceite para asegurarse que se sobresaturara este, como se recomienda trabajar en el documento "*Standardization of Oil Sorbent Performance Testing*".
4. Verter ambos volúmenes dentro del recipiente de 150 mL. Se recomienda utilizar un envase propio, el cual se utilizará para que el exceso del aceite luego de la adsorción pueda caer (dicho envase se utiliza para que pueda ser manchado de aceite) y de esta manera evitar la contaminación de cristalería en el laboratorio. También se recomienda usar un Beaker específico para medir el aceite para evitar la contaminación de cristalería en el laboratorio.
5. Colocar la mezcla de aceite usado y agua en el envase de plástico de 150 mL.
6. Añadir el adsorbente granular en el primer cedazo.
7. Verter la mezcla en el cedazo con el adsorbente granular, de manera que la separación ocurra por gravedad, colocando otro envase de vidrio 150 mL debajo del cedazo para que esta manera el agua y aceite (que no se logre adsorber) se viertan por gravedad. Evitar que se pierda cantidad de sólido cuando este se deposite en el cedazo y cuando se vierta la mezcla en sobre este, por lo que se recomienda que se sostenga dicho cedazo en el recipiente de 150 mL con masking tape, de manera que quede en forma de bowl, para evitar que este se mueva y se pueda caer cantidad del adsorbente granular.
8. Comenzar a tomar tiempo con un cronómetro. Ir cambiando los tiempos de contacto de 2, 4, 6 hasta 8 min.
9. Dejar el sólido en el cedazo para que escurra el aceite y el agua para determinar el tiempo de goteo.

10. Determinar el punto de saturación del adsorbente cuando ya se no sea posible recuperar aceite de la mezcla inmiscible de agua con aceite usado.
11. Esperar que el sólido deje de escurrir aceite para el siguiente paso.
12. Retirar el cedazo con el adsorbente granular y colocarlo en la tapadera de plástico para pesarlo en una balanza analítica para determinar la diferencia de masa y de esta manera determinar la capacidad de adsorción del adsorbente granular.
13. Realizar todos los pasos anteriores con los otros dos cuadros de cedazos previamente cortados y los otros dos volúmenes.
14. Verter la mezcla de aceite-agua sobrante en un contenedor plástico sellado y rotulado para su posterior desecho.
15. Colocar los cedazos con el adsorbente granular en bolsa ziploc para su posterior descarte.

I. Evaluación de adsorbentes para objetivo No. 2

1. Cortar de 4-5 cuadros de 7x7 cm de cada una de las mantas adsorbentes y numerarlas.
2. Pesar de 10-18 g de adsorbente granular.
3. Realizar todos los pasos de las evaluaciones de los adsorbentes variando los volúmenes, utilizando 70 mL de aceite y 50 mL de agua.
4. Determinar cuánta cantidad de se necesita de cada adsorbente para remover por completo el aceite del agua.

J. Análisis extra de los parámetros del agua antes y después de la adsorción

1. Antes de todas las adsorciones al realizar la mezcla de agua-aceite, guardar muestras de dicha mezcla inmiscible en un envase y dentro de la refrigeradora.
2. Al final de todas las adsorciones guardar en un envase una muestra del agua recuperada y colocarla en la refrigeradora.
3. Realizar análisis de pH, turbidez, DQO y DBO para las muestras.

K. Generación de resultados

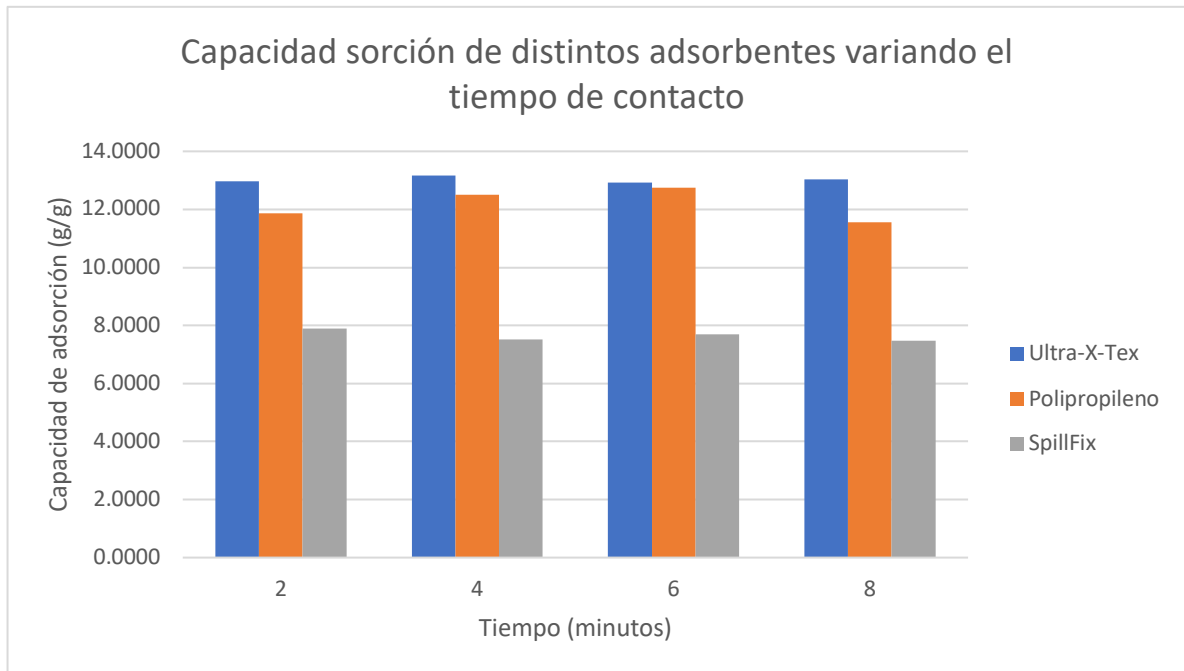
1. Generar curvas de adsorción vs tiempo y determinar el punto de saturación de los adsorbentes, utilizando Microsoft Excel.
2. Determinar las incertidumbres de los datos utilizando ecuaciones vistas en Analítica y Estadística, para cálculos de propagación.
3. Determinar la rentabilidad de cada adsorbente utilizando conceptos de Economía.
4. Determinar cuál adsorbente es el más adecuado teóricamente, usando como herramienta los conceptos vistos en Transferencia De Masa.

L. Descarte de los desechos

1. Los adsorbentes se colectan en un envase de plásticos para luego irlos a depositar a una empresa que se hace cargo de los desechos y aseguran realizar el proceso de incineración de manera correcta.
2. Colectar también en un envase de plástico el desperdicio del aceite con agua que queda luego de lavar la cristalería y enviarlo a la misma empresa. Se recomienda tener un envase de 1 L o más de ser posible de plástico e identificarlo bien para el desecho de aceite usado para las pruebas de adsorción.
3. Tener una caja en la que se pueda colocar los envases de desperdicios para evitar derrames y colocarle periódico para evitar manchar de aceite el suelo.
4. Desechar los reactivos del equipo HACH en un envase de vidrio que se tenga solamente para dichos desechos y entregarlos al encargado del laboratorio para que una empresa encargada de desechos químicos que se haga cargo de estos.

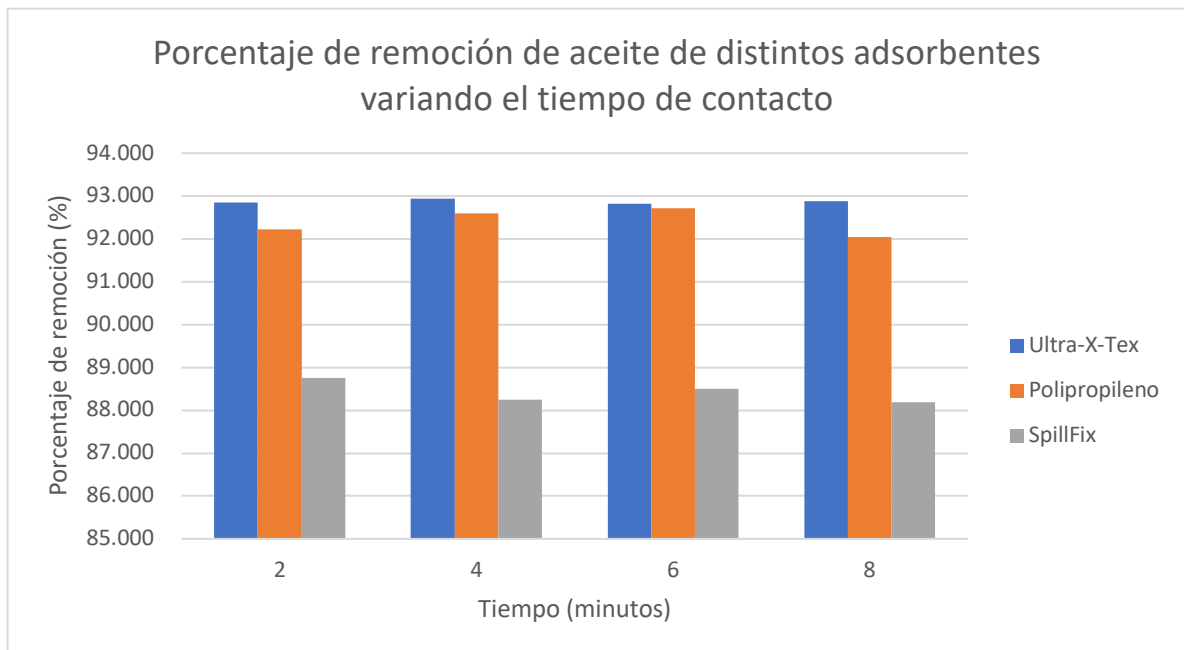
IX. RESULTADOS

Ilustración 7. Capacidad de sorción promedio para tres diversos adsorbentes variando el tiempo de contacto



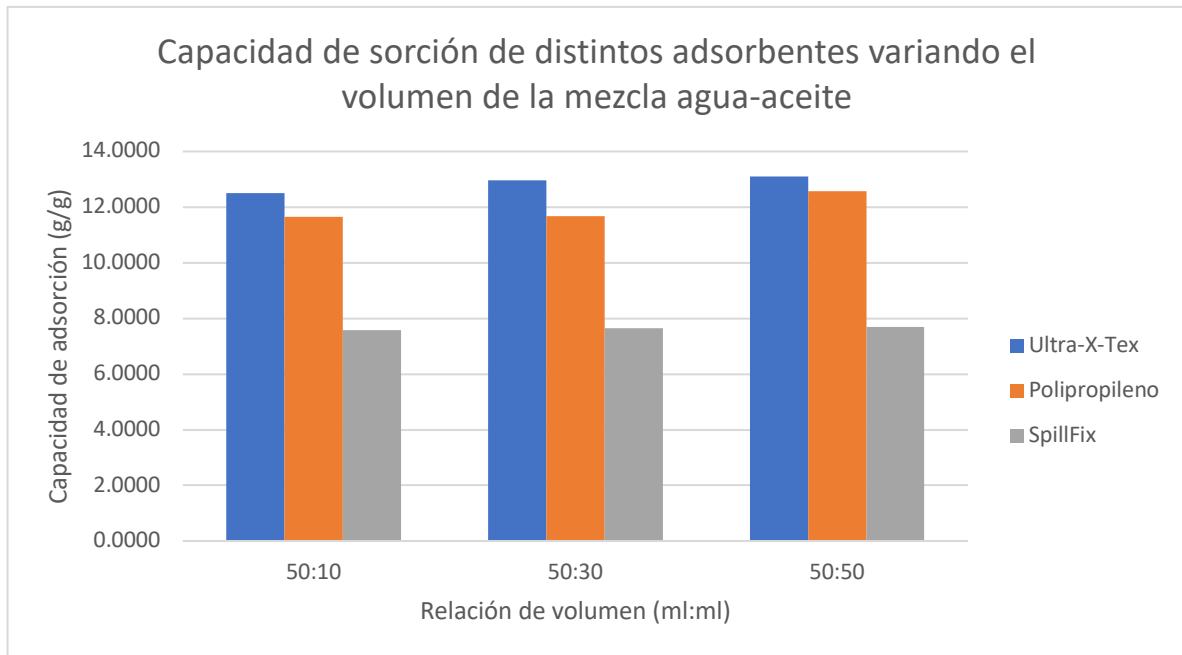
Nota: Elaboración propia. Se determinó la capacidad de sorción de cada uno de los adsorbentes con los que se trabajó, variando el tiempo de contacto entre el adsorbente y la mezcla aceite-agua (50:50 mL). Datos originales en la Tabla No. 3, página (54).

Ilustración 8. Porcentaje de remoción con datos promedios para tres diversos adsorbentes variando el tiempo de contacto



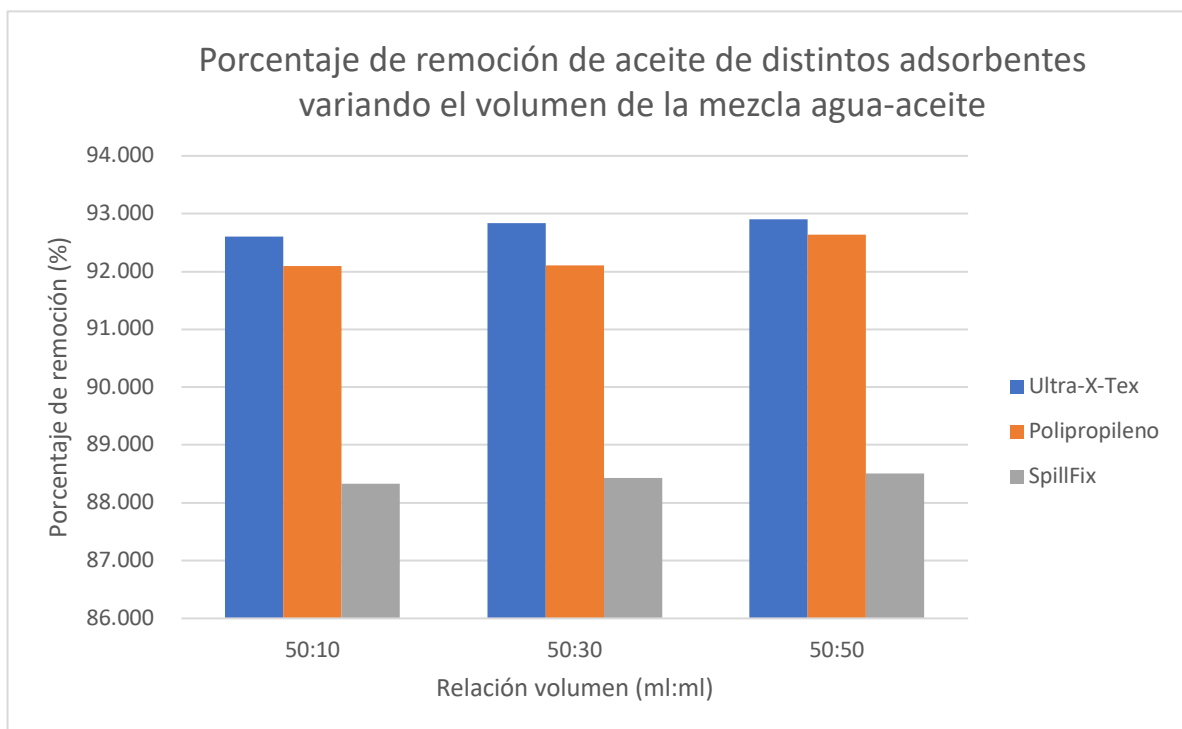
Nota: Elaboración propia. Se determinó el porcentaje de remoción de cada uno de los adsorbentes con los que se trabajó, variando el tiempo de contacto entre el adsorbente y la mezcla aceite-agua (50:50 mL). Datos originales en la Tabla No. 4, página (54).

Ilustración 9. Capacidad de sorción promedio para tres diversos adsorbentes variando el volumen de la mezcla agua-aceite



Nota: Elaboración propia. Se determinó la capacidad de sorción de cada uno de los adsorbentes con los que se trabajó, variando el volumen de la mezcla aceite-agua con un tiempo constante de 6 minutos. Datos originales en la Tabla No. 5, página (54).

Ilustración 10. Porcentaje de remoción con datos promedios para tres diversos adsorbentes variando el volumen de la mezcla agua-aceite



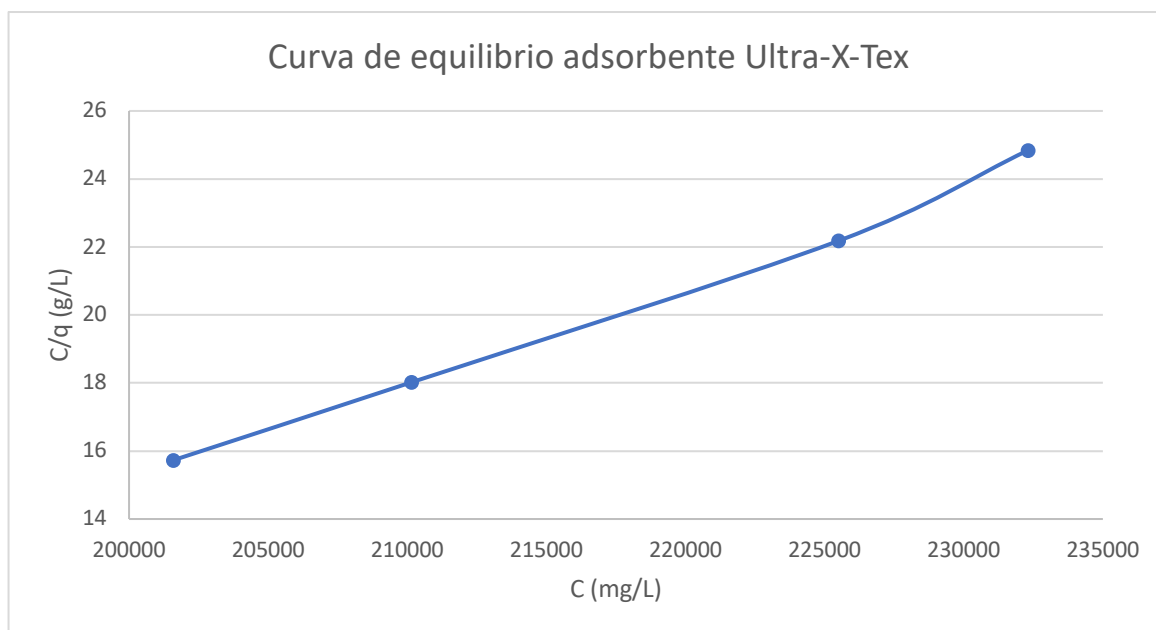
Nota: Elaboración propia. Se determinó el porcentaje de remoción de cada uno de los adsorbentes con los que se trabajó, variando el volumen de la mezcla aceite-agua con un tiempo de contacto constante de 4 minutos. Datos originales en la Tabla No. 6, página (55).

Tabla 1. Análisis costo beneficio de los tres adsorbentes en estudio

	Ultra-X-Tex	Polipropileno	SpillFix
Beneficio	Q 1,531.00 (\$199.03)	Q 1,531.00 (\$199.03)	Q 1,531.00 (\$199.03)
Contrabeneficio	Q 3,866.85 (\$29,904.98)	Q 3,866.85 (\$29,904.98)	Q 3,866.85 (\$29,904.98)
Costos			
Inversion inicial	Q 6,565.90 (\$849)	Q 22,354.50 (\$2,890.53)	Q 964,285.71 (\$124,686.37)
Años	1	1	1
Tasa anual	14%	14%	14%
Mano de obra estimado el costo	Q 92.88 (\$871.26)	Q 92.88 (\$871.26)	Q 92.88 (\$871.26)
Total	-Q 2,276.01 (-\$249.30)	-Q 5,068.87 (-\$655.43)	-Q 171,688.15 (-\$22,200.03)
Factor Costo beneficio (B/C)	1.03	0.46	0.01

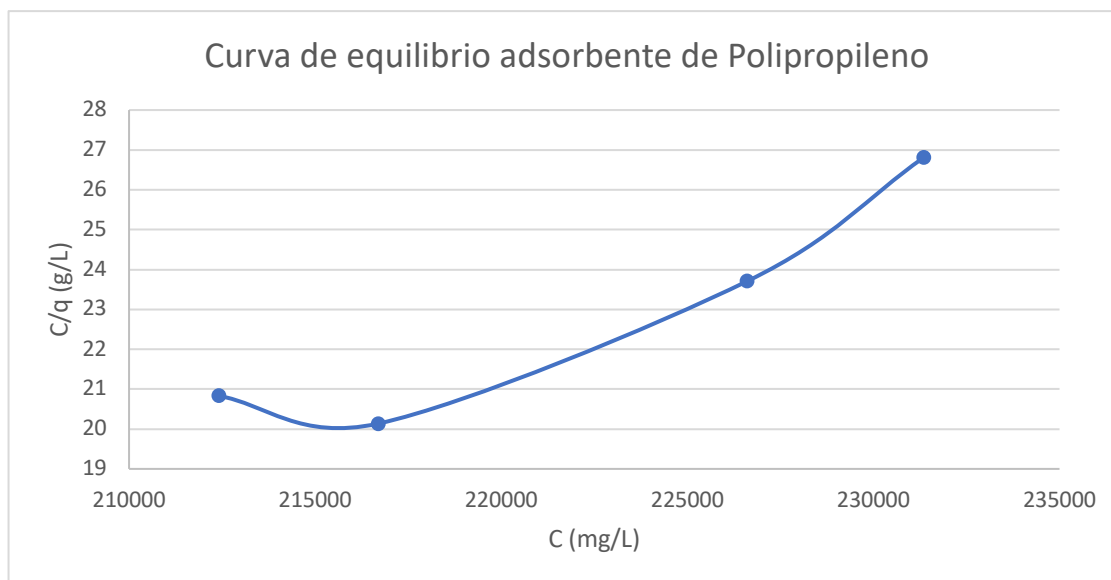
Nota: Elaboración propia. Se realizó el análisis de costo beneficio de los tres adsorbentes utilizados, por lo que el beneficio se determinó que sería ahorrarse el costo de inversión de una trampa de grasas (Q 1,531.00/ \$199.03). La desventaja (contrabeneficio) se consideró que sería la compra de un biofiltro (Q3,866.85/ \$29,904.98) el cual sería necesario utilizarlo para remover los contaminantes del agua después de las adsorciones, este sería ideal ya que se utiliza para limpiar aguas residuales. Los costos es la inversión inicial de cada uno, se planteó que el proyecto será para 1 año hipotéticamente y la tasa anual sería la de 14% si se trabajase con el Banco Industrial; el estudio se realizó en octubre del año 2021. El tipo de cambio utilizado se consultó el 3 de octubre de 2021, según el Banco de Guatemala (Q7.73369 por \$1.00). También se determinó la cantidad necesaria de los adsorbentes necesarios para remover 45L de aceite lo cual se removería con la trampa de grasas. Una unidad del adsorbente Ultra-X-Tex sería suficiente lo cual sería una inversión de Q6,565.90 (\$849). El adsorbente de Polipropileno es capaz de remover solamente 0.53 L de aceite de motor usado, por lo que se necesitarían más de 100 almohadillas; por lo que, su costo de inversión sería de Q22,354.50 (\$2,890.53). El adsorbente granular SpillFix no es capaz de remover 45 L de aceite si no que solamente puede remover 1.39 L, por lo que se necesitarían 11,213.09 gramos de este adsorbente, siendo esto un costo de inversión inicial del producto de Q964,285.71 (\$124,686.37). Se utilizó la tasa del banco de ser necesario un préstamo a la hora de querer adquirir los adsorbentes, con lo que se calculó la anualidad para cada uno de los adsorbentes, a la cual se le sumó al costo de la mano de obra mensual durante 1 año, que se tendría que pagar a un operario para que realice las adsorciones. Dicho costo de mano de obra se determinó del Ministerio de Trabajo a partir del sueldo de las personas que no trabajan en el sector agrícola. Los cálculos realizados y los totales obtenidos se pueden observar en la Tabla No. 2 (página 53) y en los cálculos No. 14-16 en anexos páginas (75-76).

Ilustración 11. Curva de equilibrio con datos promedios del adsorbente Ultra-X-Tex



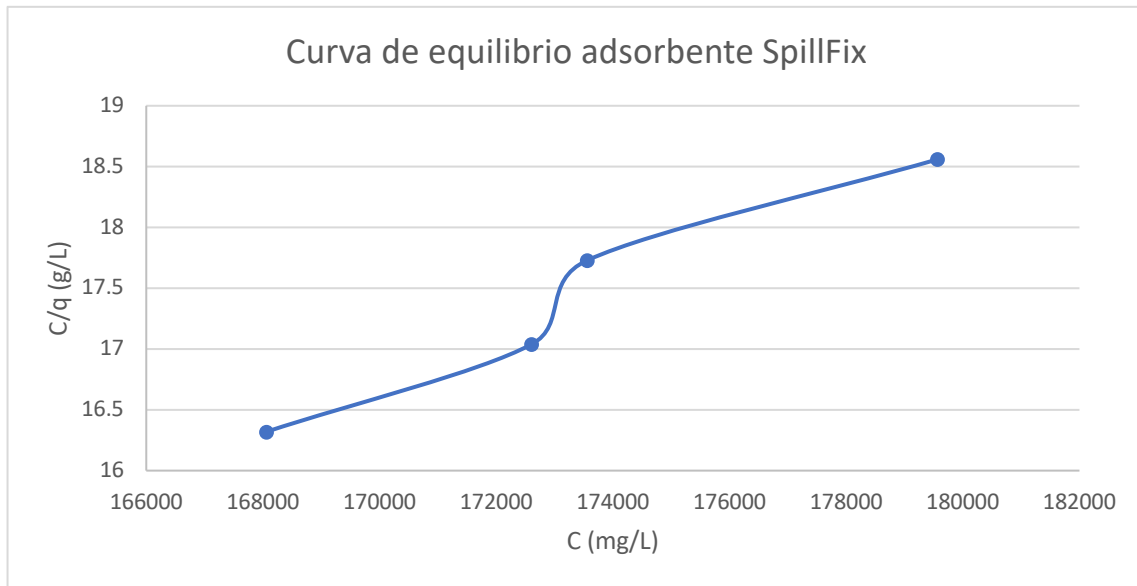
Nota: Elaboración propia. En la siguiente figura se graficó la capacidad adsorbida de adsorbato en función de la concentración de adsorbato en la solución a diferentes tiempos de contacto, usando el adsorbente ULTRA-X-TEX. Se utilizaron los datos de la Tabla No. 7, página (55).

Ilustración 12. Curva de equilibrio con datos promedios del adsorbente de Polipropileno



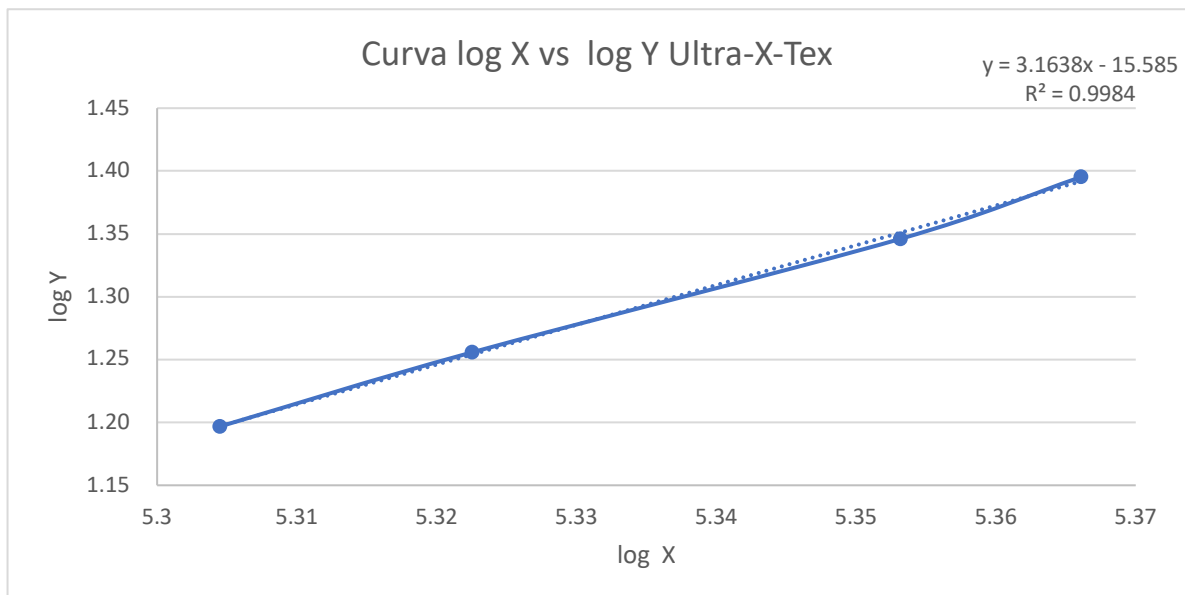
Nota: Elaboración propia. En la siguiente figura se graficó la capacidad adsorbida de adsorbato en función de la concentración de adsorbato en la solución a diferentes tiempos de contacto utilizando el adsorbente de Polipropileno. Se utilizaron los datos de la Tabla No. 8, página (55).

Ilustración 13. Curva de equilibrio con datos promedios del adsorbente SpillFix



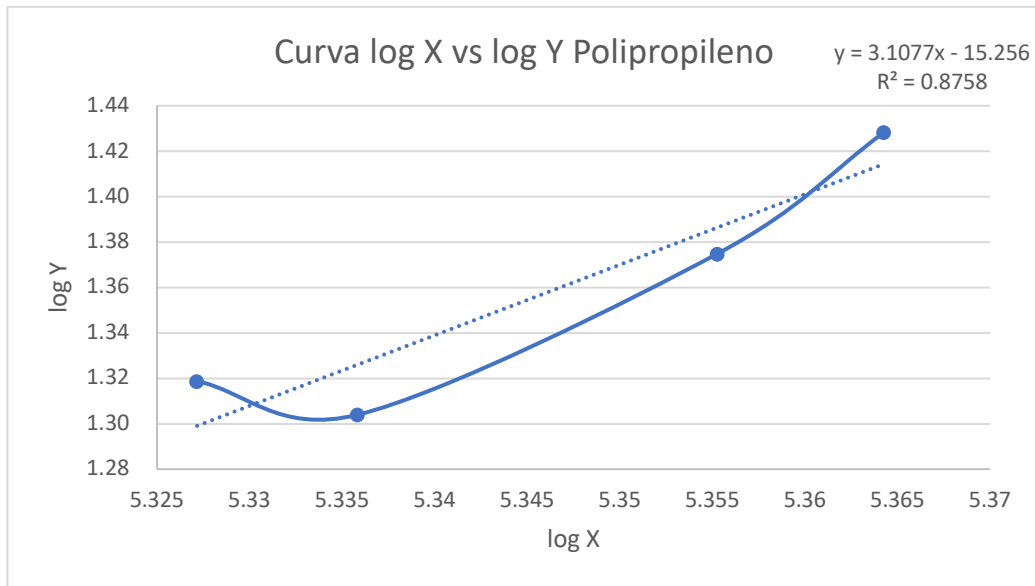
Nota: Elaboración propia. En la siguiente figura se graficó la capacidad adsorbida de adsorbato en función de la concentración de adsorbato en la solución a diferentes tiempos de contacto, utilizando el adsorbente SpillFix. Se utilizaron los datos de la Tabla No. 9, página (56).

Ilustración 14. Curva de equilibrio linealizada con datos promedios del adsorbente Ultra-X-Tex



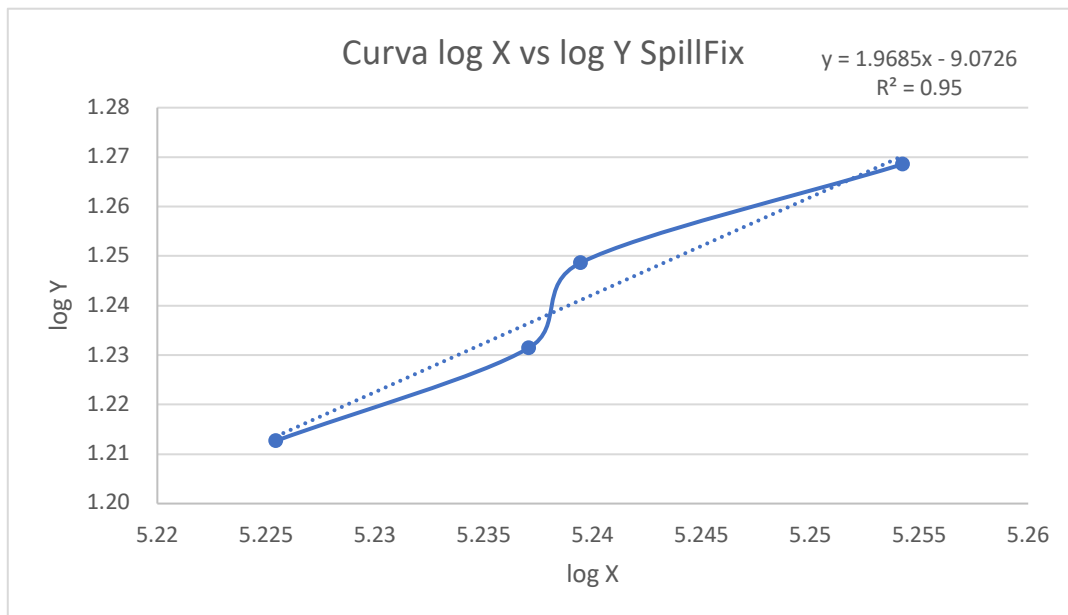
Nota: Elaboración propia. En la siguiente figura se graficó el logaritmo de la capacidad adsorbida de adsorbato en función del logaritmo de la concentración de adsorbato en la solución a diferentes tiempos de contacto, usando el adsorbente Ultra-X-Tex. Se utilizaron los datos de la Tabla No. 7, página (55).

Ilustración 15. Curva de equilibrio linealizada con datos promedios del adsorbente de Polipropileno



Nota: Elaboración propia. En la siguiente figura se graficó el logaritmo de la capacidad adsorbida de adsorbato en función del logaritmo de la concentración de adsorbato en la solución a diferentes tiempos de contacto, usando el adsorbente de Polipropileno. Se utilizaron los datos de la Tabla No. 8, página (55).

Ilustración 16. Curva de equilibrio linealizada con datos promedios del adsorbente SpillFix



Nota: Elaboración propia. En la siguiente figura se graficó el logaritmo de la capacidad adsorbida de adsorbato en función del logaritmo de la concentración de adsorbato en la solución a diferentes tiempos de contacto, usando el adsorbente SpillFix. Se utilizaron los datos de la Tabla No. 9, página (56).

IX. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Capacidad de sorción de materiales sintéticos

Como es de evidenciarse en la Figura No. 7 en la sección de resultados en la página (30), al variar el tiempo de contacto la capacidad de sorción más alta fue la del adsorbente Ultra-X-Tex; misma que estuvo en un rango de $(12.9263-13.1576) \pm 0.0001 \text{g/g}$. Dicha alta capacidad fue debido a que este adsorbente está constituido de fibras recicladas las cuales son oleofílicas, lo cual permite eliminar de manera eficiente los aceites del agua, y esto anterior fue posible observarse en los resultados obtenidos. El segundo adsorbente con alta capacidad de adsorción variando el tiempo, fue el de Polipropileno el cual tuvo una capacidad de adsorción entre $(11.5601-12.7398) \pm 0.0001 \text{g/g}$, esto es debido a que el polipropileno es un material no higroscópico; por lo que, el agua no penetra el material si no que solamente permanece en la superficie de este. El adsorbente que tuvo la adsorción más baja fue el SpillFix el cual es un polvo granular constituido de fibras de coco, las cuales promueven la adsorción del aceite de motor debido a su composición ya que son hidrofóbicas; por lo que su capacidad de adsorción estuvo entre $(7.4701-7.8910) \pm 0.0001 \text{g/g}$. Cabe mencionar, que dicho adsorbente a los 2 minutos tuvo una mayor capacidad de adsorción comparada con los otros tiempos de contacto; mientras que los otros dos adsorbentes mantuvieron su capacidad de sorción sin importar el tiempo de contacto. Los resultados obtenidos, sí coincidieron con la literatura, ya que se esperaba que para el Ultra-X-Tex se obtuvieran capacidades de adsorción cercanas a 13g/g , mientras que para el adsorbente de polipropileno se esperaba que fuese de 12g/g y las del sólido que estuvieran dentro del rango de $4.8-8 \text{g/g}$.

En la Figura No. 8 en la parte de resultados, página (30), se presentan los porcentajes de remoción de cada uno de los adsorbentes al variar el tiempo de contacto, por lo que fue posible observar que los adsorbentes que tuvieron mayor porcentaje de remoción fueron el Ultra-X-Tex y el de Polipropileno, estando en un rango de $92.819 \pm 0.006\% - 92.937 \pm 0.005\%$ y $(92.038-92.722) \pm 0.005\%$ respectivamente. El adsorbente con el porcentaje de remoción más bajo fue el SpillFix, el cual estuvo en el rango de $(88.194- 88.753) \pm 0.004\%$. Como se puede observar, a pesar de que el adsorbente SpillFix tuvo un porcentaje de remoción menor a los otros dos adsorbentes, fue posible evidenciar que sí se puede llegar a considerar que es buen adsorbente ya que su porcentaje fue mayor al 50%.

La capacidad de sorción más alta variando el volumen de la mezcla aceite-agua, fue del adsorbente Ultra-X-Tex el cual estuvo entre el rango de $(12.5114- 13.0948) \pm 0.0001 \text{g/g}$. El adsorbente con la segunda capacidad de sorción más alta fue el adsorbente de Polipropileno la cual fue de $(11.6452-12.5726) \pm 0.0001 \text{g/g}$; mientras que el adsorbente con la menor capacidad de sorción fue el SPILLFIX con $(7.5710-7.6988) \pm 0.0001 \text{g/g}$. Debido a la anterior, se encontró que los porcentajes de remoción al variar el volumen de aceite y agua, tuvieron un comportamiento similar a los porcentajes de remoción al variar el tiempo de contacto; de manera que, el adsorbente Ultra-X-Tex tuvo un porcentaje entre $(92.599-92.905) \pm 0.005\%$, el de Polipropileno fue de $92.092 \pm 0.002\% - 92.632 \pm 0.006\%$ y el SpillFix fue de $(88.333- 88.504) \pm 0.004\%$. Las relaciones de volúmenes que se utilizaron para dicho análisis fueron 50 mL de agua y 50 mL de aceite. Los datos anteriormente explicados se pueden

observar las figuras No. 9 y 10. Se utilizó como volumen fijo de agua de 50 mL, mientras que de aceite se varió de 10, 30 y 50 mL; no se varió más el volumen del aceite debido a que fue posible observar que a 50 mL todos los adsorbentes se sobresaturaban.

B. Realizar análisis costo beneficio basado en curvas de retención

En las figuras de la 10 a la 12 en la parte de resultados (páginas 31 y 33), se encuentran las curvas de retención de los adsorbentes en estudio, dichas curvas evidenciaron el comportamiento como tal del adsorbente para remover el aceite de la mezcla agua-aceite; es decir, entre más cóncava sea la curva mejor es el adsorbente para remover cierto adsorbato. Fue posible observar que la mejor curva de equilibrio de retención esperada según Freundlich fueron las obtenidas para el adsorbente Ultra-X-Tex y el de Polipropileno, ya que la tendencia de dichas curvas tuvo una tendencia exponencial; mientras que el adsorbente SpillFix no tuvo una tendencia como tal por lo que no fue posible inferir que dicho adsorbente se recomiende utilizar. La curva poco típica del SpillFix pudo deberse a que este al ser un adsorbente en polvo siempre tuvo pérdidas y el manejo de este es más complicado comparado con los otros dos adsorbentes, los cuales son almohadillas que pueden ser fácilmente removidas de la mezcla inmiscible agua-aceite. Los resultados obtenidos, si tuvieron coherencia con lo esperado, ya que se esperaba que para el Ultra-X-Tex y el adsorbente de Polipropileno fueran los que mejores curvas tuviesen debido a que son mejores adsorbentes que el SpillFix.

Al analizar los datos obtenidos en la Tabla No. 1 en la parte de resultados en la página (32). Es posible evidenciar que el mejor adsorbente según el factor de costo beneficio fue el adsorbente Ultra-X-Tex con un factor de 1.18 el cual indica que el proyecto si es viable; es decir, que es viable el uso de adsorbente en vez de una trampa de grasas. Se comparó con una trampa de grasas, debido al tamaño de flujo necesario de esta, ya que el estudio se enfoca en el uso de los adsorbentes para derrames pequeños con altas concentraciones de aceite de motor usado debido al mal descarte de este desecho, como lo sería un taller mecánico y es por esto el valor elevado de la concentración de aceite en la mezcla inmiscible (agua-aceite). Los otros dos adsorbentes, el de polipropileno y el SpillFix no tuvieron factores de costo-beneficio mayores a 1 por lo que no se recomienda el uso de estos para remover un volumen de 45 L de aceite. Cabe mencionar que los 3 adsorbentes en estudio fueron comparados con la alternativa de no hacer nada, y solamente el adsorbente Ultra-X-Tex es mejor que la opción de no hacer nada para la adsorción de aceite de motor usado.

El valor de Q1,531.00 (\$199.03) en la Tabla No. 1 el cual es el beneficio se tomó como el dinero que se ahorraría al no tener que invertir en una trampa de grasas capaz de remover 45 L de aceite. El factor de desventaja (contrabeneficio) se tomó como el costo que se tendría luego de las adsorciones si se desea purificar el agua para su posterior uso, el cual podría ser un biofiltro (Q3,866.85/ \$502.69) el cual es ideal para limpiar aguas residuales. Se determinó la cantidad necesaria de los adsorbentes necesarios para remover dicho volumen de aceite; por lo que, para el adsorbente Ultra-X-Tex era suficiente comprar una unidad de este ya que como se observa en la Tabla No. 2 (página 53) con este adsorbente se pueden

remover hasta 414.75 L de aceite. El adsorbente de Polipropileno es capaz de remover solamente 0.53 L de aceite de motor usado, por lo que se necesitarían más de 100 almohadillas y es por esto que su costo de inversión sería de Q22,354.50 (\$2,890.53). Por último, el adsorbente granular SpillFix tampoco es capaz de remover 45 L de aceite si no que solamente puede remover 1.39 L, por lo que se necesitarían 11,213.09 gramos de este adsorbente para poder remover todo el aceite, siendo esto un costo de inversión inicial del producto de Q964,285.71 (\$124,686.37). El análisis de costo-beneficio realizado se hizo para 1 año. La tasa utilizada fue de 14% anual la cual se encontró en las tasas que normalmente brinda el Banco Industrial para préstamos menores a 1 millón para empresas, esta tasa se planteo para aquellas empresas que necesiten de un préstamo a la hora de querer adquirir los adsorbentes, pero si no se necesitará dicho préstamo bancario se ahorraría la anualidad calculada para cada uno de los adsorbentes, la cual se sumó al costo de la mano de obra mensual durante 1 año, que se tendría que pagar a un operario para que realice las adsorciones; dicho costo de mano de obra se determinó del Ministerio de Trabajo a partir del sueldo de las personas que no trabajan en el sector agrícola, cuánto ganan por día. Los cálculos realizados y los totales obtenidos se pueden observar en la Tabla No. 2 y en los cálculos No. 14-16 en anexos páginas (75-76).

Como se puede observar en la Tabla No. 2 en la parte de anexo en la página (53), el adsorbente que menor costo tiene por cuadro de 7x7 cm de adsorbente fue el adsorbente de Polipropileno, seguido del adsorbente Ultra-X-Tex, siendo un costo de Q0.19 y Q0.28 respectivamente. A pesar de que el adsorbente Ultra-X-Tex se vende como una gran tela, es recomendable comprarlo ya que el costo para remover los 50 mL de aceite en 50 mL de agua utilizando cuadrados 7x7 cm de adsorbente fue de Q 0.55 (\$0.07) por mL removido, obteniéndose así una relación costo-volumen total de Q1.37 (\$0.18); dichos cálculos para el factor costo-volumen y el costo por manta de 7x7 cm se encuentran en la sección de cálculos en los cálculos No. 17- 20 páginas (76-77). El adsorbente de Polipropileno, también se recomienda utilizar ya que tuvo una relación de costo-volumen de Q1.43 (\$0.19); asimismo, fue el segundo adsorbente que tuvo la mejor curva de retención lo cual fue discutido en la sección anterior. El adsorbente SpillFix tuvo una relación de Q1.94 (\$0.25) y dicho valor de casi Q2.00 (\$0.26) fue debido a que fue muy complicado el manejo de este para retirarlo de la mezcla de aceite y agua sin llevarse gran cantidad de agua; asimismo, el adsorbente no dejo el agua completamente limpia si no que la dejó con material particulado lo cual se vería afectado posteriormente en el tratamiento del agua, ya que se tendrían que filtrar dichos sólidos, lo cual es un costo adicional y más tiempo invertido lo cual se refleja en mayor cantidad de operarios. El tipo de cambio utilizado fue el del día 3 de octubre de 2021, según el Banco de Guatemala el cual estaba a Q7.73369 por \$1.00.

Fue posible concluir que la mejor opción es el adsorbente Ultra-X-Tex a pesar de que el material solo se venda en rollos de 5X250 ft, pero es más rentable a largo plazo ya que adsorbe más aceite de motor usado. En caso de necesitarse de emergencia un adsorbente para un pequeño derrame accidental, se recomienda el uso del adsorbente de Polipropileno ya que este no está tan alejado del adsorbente Ultra-X-Tex en buenas características de operación. Por último, el adsorbente SpillFix se recomienda que se utilice en secciones irregulares donde haya solamente derrames de aceite y no se deba recuperar agua como en algún espacio entre equipos o espacios irregulares entre azulejos de los pisos.

C. Curva de equilibrio más cercana a la ideal

Al realizar las regresiones lineales para obtener las curvas de equilibrio de los adsorbentes, el adsorbente que presentó la mejor curva según los parámetros de Freundlich (n y R^2), los cuales significan la capacidad y la intensidad de la adsorción; es decir, entre mayor sea n a 2, mayor es la capacidad del adsorbente para adsorber el adsorbato lo cual genera en sí también una R^2 cercana a 1; dicho comportamiento es el que se espera que tenga un buen adsorbente. El adsorbente Ultra-X-Text fue el que mejores parámetros tuvo, ya que según Freundlich un adsorbente favorable es aquel que posee un $n > 2$ y para este se obtuvo un $n = 3.1638$, lo cual también se evidencia en la R^2 de este la cual es casi 1 (valores que se pueden observar en la Figura 14 en la parte de resultados en la página (34), esto indica que es el mejor adsorbente ya que posee la mayor capacidad de adsorción del adsorbato (aceite). El segundo adsorbente con la mejor curva fue el de Polipropileno, el cual tuvo un valor de $n = 3.1077$ y un R^2 de 0.8758, su R^2 alejado a 1 fue debido a datos atípicos; no obstante, presentó una curva cóncava como se espera que sea el comportamiento de las curvas según Freundlich. Asimismo, a pesar de que el R^2 fue lejano a 1, fue válida la regresión lineal ya que dicho parámetro es simplemente una medida de qué tan cerca o no se encuentran los valores de la línea de la regresión ajustada, pero no es un parámetro determinante como lo es el valor de la n , para el análisis de Freundlich. Mientras que para el adsorbente SPILLFIX la curva poco típica obtenida, generó un n de 1.9685, por lo cual se descartó como un adsorbente favorable ya que dicho valor es menor a 2; asimismo, este adsorbente a pesar de que su R^2 fue de 0.95 su curva no tuvo una tendencia cóncava como los otros dos adsorbentes; por lo que, se concluye que este adsorbente no es tan recomendable utilizarlo en comparación con los otros adsorbentes Ultra-X-Text y el de Polipropileno.

Otro factor que pudo haber influenciado en la no tan alta capacidad de adsorción del SpillFix, pudo haber sido el tamaño de partícula utilizado; ya que este es un parámetro que influye en la capacidad de sorción de los adsorbentes de manera directa, debido a que entre menor sea el tamaño de la partícula, mejor es la adsorción de los materiales; por lo que, fue posible observar que en los platos donde se obtuvieron mayores cantidades de sólidos retenidos para el análisis granulométrico fue del plato 20 al plato 60, los cuales son tamaños de partículas pequeños pero no son microscópicos como lo son los últimos platos lo cual hubiese sido más favorable a la hora de la adsorción ya que hubiera aumentado el área de contacto entre el adsorbente y el aceite, adsorbiendo mejor este último. Sin embargo, un tamaño de partícula tan pequeño no se recomendaría tampoco para este tipo de análisis ya que es difícil manejar dicho adsorbente, lo cual fomentaría a tener más pérdidas y a tener más sólidos que podrían dispersarse en el aire; por lo que, se recomienda que se realice un estudio en donde se varíe el tamaño de la partícula del SpillFix para de esta manera saber cuál es el tamaño de la partícula con la que se obtiene la mejor adsorción. Cabe mencionar que se utilizó 1 gramo del adsorbente granular para todas las pruebas.

D. Análisis extra de parámetros de agua

Al realizar el análisis de los parámetros del agua antes y después de la adsorción fue posible determinar que el agua luego de la adsorción no se presentó tan contaminada como se esperaba. Lo anterior pudo haber sido debido a que el agua que se analizó fue agua preparada; es decir, fue agua que llevaba pocos días de contaminación, en comparación con otras aguas que poseen más de 24 horas de contaminación. Al analizar los resultados promedios obtenidos ver Tabla No. 12 en parte de anexos, página (57) es posible discutir acerca de los parámetros de DBO y el pH, ya que los demás parámetros no tienen un rango establecido el cual esté en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. La demanda biológica de oxígeno (DBO), es un parámetro que da lugar a la determinación del grado de contaminación del agua, debido a establece la cantidad de oxígeno que los microorganismos los cuales pueden ser bacterias, hongos e incluso el plancton consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas que están en la muestra; por lo que, por medio de este parámetro es posible determinar el grado de contaminación del agua. Como se puede observar, en la tabla 12 en la parte de anexos, página (57), el DBO obtenidos para cada adsorbente no fue mayor a 200 mg/L luego de ejecutar las adsorciones; por lo que, si el agua no hubiera sido preparada, se hubiera podido concluir probablemente que esta sí excedió el rango establecido en el Acuerdo Gubernativo. De manera que el agua en estudio no excedió el rango establecido en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 el cual es: pH de 6 a 9. Por otro lado, el pH en el agua estudiada estuvo en un rango de 6.00-7.10, valores que se encuentran dentro del rango establecido por el acuerdo. De manera que se concluye que el agua luego de las adsorciones no estuvo tan contaminada como se esperaba que estuviera.

El valor del DBO para los análisis del agua antes y después de las adsorciones aumentó, ya que pasaron de estar al inicio para los tres adsorbentes entre 0.10 a 0.28 a estar entre 5-12 a 8.80. El aumento de dicho parámetro evidencia el grado de contaminación del agua en estudio. El valor de la Demanda Biológica de Oxígeno demostró que el agua a pesar de haber sido agua preparada y de haber estado menos de 24 horas contaminada como se explicó en el anterior párrafo, fue posible llegar a la conclusión que el agua sí se contaminó al entrar en contacto con el aceite de motor usado. Cabe mencionar el valor obtenido del DQO (Tabla 13 página 58) ya que generalmente se sabe que el valor del DQO para aguas industriales se sitúa entre 50-2,000 mg/L y en los resultados obtenidos en el laboratorio fue posible observar que se tuvieron resultados de DQO 73.00 a 116.33 mg/L, lo cual indicó que el agua luego de las adsorciones sí se encontraba lo suficientemente contaminada como para ser catalogada agua residual industrial y es por eso que deberían realizarse tratamiento posteriores a la adsorción como podría ser un tratamiento físico-químico, ya que se trata de aguas que estuvieron en contacto con aceite y el agua luego de las adsorciones queda con residuos de aceite disueltos en ella. Algunos de los ejemplos de los tratamientos fisicoquímicos que se podrían realizar son: precipitación, decantación, coagulación, oxidación avanzada, filtración, entre otros.

E. Análisis de porcentaje de error

Los porcentajes de error de las capacidades de sorción de cada uno de los adsorbentes en estudio fueron menores al 50%. Los porcentajes se pueden observar en las tablas 25 y 26 en la parte de anexos en la página (62), fue posible observar que el adsorbente con menos porcentaje de error al variar el tiempo de contacto fue el adsorbente Ultra-X-Tex, seguido del adsorbente de Polipropileno, seguido del adsorbente SpillFix. Por otro lado, el adsorbente con menor porcentaje de error variando el volumen de la mezcla fue inverso a los porcentajes variando el tiempo de contacto; ya que, el que tuvo el menor porcentaje de error fue el SpillFix, seguido del de Polipropileno, quedando de último el Ultra-X-Tex. En general los porcentajes de error de las capacidades de sorción fueron pequeñas, ya que fueron menores al 50%. Algunas de las posibles fuentes de error a lo largo de la metodología realizada fueron que hubo pérdidas de aceite al momento de sumergir y remover las mantas de la mezcla inmiscible y pudo haber partes de las mantas que tal vez no se saturaron por completo. Mientras que cuando se trabajó con el adsorbente SpillFix hubo más pérdidas debido a que este al ser un adsorbente granular fue difícil de manipular sin que hubiera muchas pérdidas; asimismo, restos de este siempre quedaron suspendidos en el agua, lo cual aumento los sólidos suspendidos en el agua luego de las adsorciones. A pesar de que no se realizó este análisis se podían observar las partículas suspendidas del adsorbente en el agua luego de las adsorciones.

Cabe resaltar, que los porcentajes de error de las capacidades de sorción de cada uno de los adsorbentes se determinaron a partir del valor teórico el cual era 13.0 g/g para el adsorbente Ultra-X-Tex, 12.0 g/g para el adsorbente de Polipropileno y de 4.5-8.0 g/g para el SpillFix. Los porcentajes de error del adsorbente Ultra-X-Tex al realizar el estudio variando el tiempo de contacto estuvieron en un rango de 0.19-1.2%, seguido del de Polipropileno el cual tuvo porcentajes entre 1.2-6.2%, siendo el último el SpillFix con porcentajes de error de 1.4-6.6%. De manera que se llega a la conclusión que los dos adsorbentes con mejores porcentajes de error fueron el Ultra-X-Tex y el de Polipropileno. Mientras que para el análisis de las capacidades de sorción variando el volumen de la mezcla inmiscible agua-aceite, el adsorbente con menores porcentajes de error fue el de SpillFix el cual tuvo un rango de porcentaje de error de 3.8-5.4%, seguido del adsorbente de Polipropileno con porcentajes de 4.3-9.1%, siendo el último el Ultra-X-Tex con un rango de 3.3-10%. Los cambios en el orden del adsorbente con los menores porcentajes de error pudieron haber sido a que no se dejó tanto tiempo para que ocurriese la adsorción ya que se usó un tiempo estimado de contacto de 4 minutos para que se adsorbiera el aceite y puede que fuera necesario dejar que ocurrieran las adsorciones por mas tiempo, probablemente por un par de minutos más.

F. Puntos de saturación a partir de curvas de equilibrio

Como se puede evidenciar en las ilustraciones 17-19 en las páginas (50-52), se determinaron los puntos de saturación de cada uno de los adsorbentes. Los resultados de los puntos de saturación se pueden observar en la Tabla No. 31 en la página (64). Para el adsorbente Ultra-X-Tex se determinó que aproximadamente a los 28 mL, al sumergir este adsorbente en aceite, este se satura; es decir, a partir de 29 mL ya es necesario el uso de otro adsorbente de este tipo para seguir adsorbiendo. El adsorbente de polipropileno fue similar al Ultra-X-Tex por lo que a los 28 mL se satura. El valor del adsorbente de polipropileno se esperaba que fuera parecido al del adsorbente Ultra-X-Tex, debido a que ambos adsorbentes son bastante similares. Para el SpillFix el valor de saturación fue menor a los 10 mL de aceite, lo cual era de esperarse por su baja capacidad de sorción. Los cálculos realizados para determinar dichos puntos de saturación pueden observarse en la parte de cálculos en los cálculos No 11-13 página (74).

G. Generalidades

Al observar los tamaños de los poros de los adsorbentes se puede concluir que el adsorbente Ultra-X-Tex es mejor adsorbente comparado con el de Polipropileno, ya que el primer adsorbente tiene un tamaño de poro de 140 μm mientras que el segundo adsorbente tiene un tamaño de 7.5 plg (190500 μm). Ambos poros son considerados macroporos ya que estos son mayores a 50nm. Entre más pequeño sea el poro, mejor adsorbente es el material, lo cual es debido a que mientras más pequeño es el tamaño del poro, más aumenta el potencial de adsorción del adsorbente. Asimismo, como la literatura lo indica el área superficial afecta de manera directa a la capacidad de adsorción; ya que, la adsorción es un fenómeno superficial y es por esto que la cantidad de adsorción por unidad de peso del adsorbente sólido es cada vez mayor cuando el sólido es altamente poroso; es decir, que posee gran cantidad de poros por unidad de área. Es por esto que desde un principio se esperaba que el adsorbente con mejor desempeño fuera el adsorbente Ultra-X-Tex, lo cual se vio reflejado en los resultados obtenidos a lo largo de todo el estudio realizado.

El aceite utilizado en este estudio fue aceite de motor usado, el cual tuvo una densidad promedio de 0.799 g/mL y una viscosidad promedio de 0.07 Pa*s, los cuales pueden observarse en los cuadros 21 y 22 en la parte de anexos, en las páginas (60-61). Al determinar la viscosidad del aceite utilizado no fue totalmente exacta como lo hubiera sido utilizando un viscosímetro ya que no se podía utilizar este debido a que no se quería manchar y contaminar la cristalería y tampoco se consiguió otros equipos para determinar esta. Un valor de viscosidad de 0.07 Pa*s. Las características del aceite de motor puede que hayan quedado alejadas a los valores teóricos ya que el aceite con el que se trabajó fue una mezcla de aceites de motor de varios carros y de distintas marcas.

X. CONCLUSIONES

1. Los adsorbentes con las más altas capacidades de sorción variando el tiempo de contacto y los volúmenes de la mezcla inmiscible fueron los adsorbentes Ultra-X-Tex y el de Polipropileno, los cuales tuvieron porcentajes de remoción de $(92.819 \pm 0.006)\%$ $-(92.937 \pm 0.005)\%$ y $(92.038-92.722) \pm 0.005\%$ respectivamente, siendo el menor tiempo de contacto de 2 minutos al variar el tiempo de contacto. Al variar el volumen de la mezcla inmiscible fueron de $(92.599-92.905) \pm 0.005\%$ para el adsorbente Ultra-X-Tex, y el de Polipropileno fue de $(92.092 \pm 0.002)\%$ $-(92.632 \pm 0.006)\%$.
2. A partir del análisis costo-beneficio realizado a los 3 adsorbentes, fue posible concluir que el mejor adsorbente fue el adsorbente Ultra-X-Tex con un factor de 1.18; mientras que los otros dos adsorbentes en estudio no fueron favorables debido a que el factor fue menor a 1, usando una tasa anual del 14% de ser necesario un préstamo con el Banco Industrial para adquirir los adsorbentes.
3. El adsorbente con el comportamiento más ideal según Freundlich fue el adsorbente Ultra-X-Tex, seguido del de Polipropileno y siendo el último el SpillFix, con los cuales se obtuvieron valores de R^2 de 0.9984, 0.8758 y 0.9500. El valor menor a 1 del R^2 del adsorbente de Polipropileno fue debido a datos atípicos. A partir de los valores de DQO obtenidos luego de las adsorciones con los tres adsorbentes en estudio, se determinó que el agua puede ser catalogada como agua residual industrial, ya que el valor obtenido del parámetro estuvo entre 73.00 a 116.33 mg/L, lo cual respalda que el aceite de motor usado es dañino para el medio ambiente si se descarta de forma incorrecta.

XI. RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio del tamaño de partícula óptimo en el que se obtiene la mejor capacidad de sorción para el adsorbente granular SpillFix.
2. Realizar un estudio del adsorbente granular con otros adsorbentes con características similares.
3. Realizar un estudio más detallado para determinar cómo se podría recuperar tanto el aceite usado de motor para poder reciclarlo y generar energía posteriormente como los adsorbentes para volverlos a utilizar.
4. Volver a realizar todo el análisis, utilizando un adsorbente natural no granular como lo podría ser la piedra pómez y compararla con los adsorbentes tipo manta.
5. Realizar un estudio detallado para el tratamiento del agua recuperada luego de las adsorciones, para que esta ya pueda ser utilizada como agua de riego o para uso sanitario.

XII. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Abanto, F y Martin, E. (2018). *USO DE LA FIBRA DE COCO PARA LA ADSORCIÓN DE DIFERENTES MUESTRAS DE HIDROCARBUROS -AGUA Y SU RELACIÓN CON LA SALINIDAD Y TEMPERATURA*. Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- [2]. Secretaría General de la Presidencia de la República. (2006). ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006. Guatemala: Gobierno de Guatemala.
- [3]. Aguirre, A. (1994). *Introducción al tratamiento de serie temporales*. España: Díaz de santos, S.A. Pág. 65
- [4]. Anderson, D, *et al.* (2012). *Estadística para negocios y economía*, 11^a ed., Colombia. Ed. Cengage Learning. Pág. 562.
- [5]. Arnaiz, F. (2014). *Experimentos para el Laboratorio de Química Inorgánica Verde*. Estados Unidos: Lulu Press. Pág. 22.
- [6]. ATSDR. (2016). Resúmenes de Salud Pública - Aceite usado de cárter (Crankcase Motor Oil). Extraído de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs102.html
- [7]. Aquanova. (2021). ¿Qué es la DBO y DQO?. Extraído de <https://aquanova.es/que-es-el-dbo-y-dqo/>
- [8]. Ayuda en acción. (2017). Los problemas del agua en África. Extraído de <https://ayudaenaccion.org/ong/blog/sostenibilidad/problemas-del-agua-africa/>
- [9]. Banco de Guatemala. (2021). Tipo de cambio. Extraído de <https://www.banguat.gob.gt/cambio/>
- [10]. Bazargan, Alireza, Tan, Jun, and McKay, Gordon, “Standardization of Oil Sorbent Performance Testing,” *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 43, No. 6, 2015, Pág. 1–8, doi:10.1520/JTE20140227. ISSN 0090-3973
- [11]. Bauce, G. (2000). *A propósito del análisis estadístico*. Venezuela: Caracas.
- [12]. Brady. (2018). *Innovative absorbent and spill control products you can rely on. Absorbents and Spill Control Catalog*. United States of America.
- [13]. Brady. (2017). *SpillFix® Granular: The New Standard in Granular Absorbents*. Brought to you by Brady SPC Your Trusted Absorbent and Spill Control Partner. United States of America.

- [14]. Brady Latinoamerica. (2017). *Ficha técnica SpillFix® Absorbente granular*. México.
- [15]. Burns, A. (2003). *Fundamentos de Química*. México: PEARSONS EDUCACIÓN. Pág. 15.
- [16]. Cahuana, L y Aduvire, O. (2019). *Bioacumulación de metales pesados en tejidos de vegetación acuática y terrestre evaluados en áreas donde existen pasivos ambientales mineros en el Perú*. Bolivia: Universidad Técnica de Oruro.
- [17]. Cantoni, N. (2010). *Energía*. Buenos Aires. Editorial Albatros. Pág. 69.
- [18]. Carbotecnia. (2020). ¿Cuál es la diferencia entre absorción y adsorción?. Extraído de <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/tratamiento-de-agua/diferencia-entre-absorcion-y-adsorcion/>
- [19]. Cases, M y Ríos, A. (1995). *La calidad en los laboratorios analíticos*. España. Reverte, S.A. Pág. 44-48.
- [20]. Castillo, A. (2017). *ADSORBENTES NATURALES EN LA MITIGACIÓN DEL IMPACTO ADVERSO CAUSADO POR DERRAMES DE CRUDO EN FUENTES HÍDRICAS*. Bogotá. Universidad Libre.
- [21]. Castells, X y Jurado, L. (2012). *Los plásticos residuales y sus posibilidades de valoración*. Madrid. Ediciones Díaz de Santos. Pág. 1002.
- [22]. Castrol. (2020). ACEITES PARA MOTOR POR GRADO DE VISCOSIDAD. Extraído de https://www.castrol.com/es_co/colombia/home/motor-oil-and-fluids/engine-oils/engine-oil-viscosity-grades.html
- [23]. Cecen, F. y Aktas, Ö (2012). *Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment*. Germany: Wiley-VCH.
- [24]. CEMPRE. (2021). Aceites usados. Extraído de <https://cempre.org.uy/aceites-usados/>
- [25]. Chang, R. (2007). *Química*. Novena Edición. México. McGraw Hill. págs. 507.
- [26]. Connor, N. (2019). Qué es la densidad. Extraído de <https://www.thermal-engineering.org/es/what-is-density-physics-definition/>
- [27]. Decología. (2021). Incineración, Qué es, sus principales ventajas, desventajas y más. Extraído de <https://decolegia.info/medio-ambiente/incineracion/>
- [28]. emacin. (2019). *Plásticos Técnicos. Polipropileno-PP*. Perú, Lima.

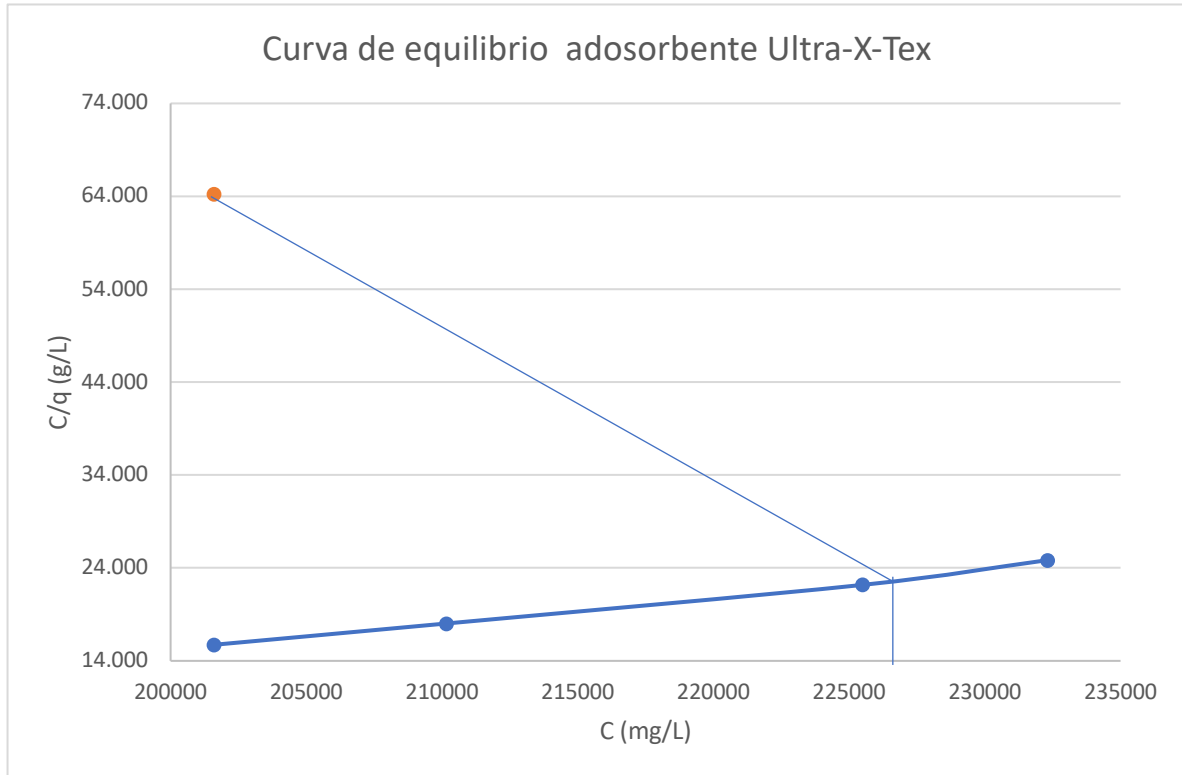
- [29]. Esperanza, A. (2017). ADSORBENTES NATURALES EN LA MITIGACIÓN DEL IMPACTO ADVERSO CAUSADO POR DERRAMES DE CRUDO EN FUENTES HÍDRICAS. Colombia. Universidad Libre.
- [30]. Fink, D. (1981). *Manual Practico de Electricidad para ingenieros: Tomo 1*. España. Reverte, S.A. Pág. 206.
- [31]. FLUENCE. (20216). ¿Qué es la adsorción?. Extraído de <https://www.fluencecorp.com/es/que-es-la-adsorcion/>
- [32]. HACH. (2021). DR3900: *Espectrofotómetro de laboratorio para análisis de agua*. Colorado: Hach.
- [33]. HACH. (2020). *HACH DR/2010 espectrofotómetro*. Colorado: Hach.
- [34]. HACH. (2021). *HQ40D Multimedidor digital de dos canales*. España: Hach.
- [35]. HACH. (2021). *TURBIDIMETRO DE LABORATORIO MOD.: 2100N*. HACH. España: Hach.
- [36]. Hernández, L, *et al.* (2019). *ELABORACIÓN DE UN MATERIAL BIOSORBENTE A PARTIR DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO (Musa sp.) PARA SER UTILIZADO EN LA REMOCIÓN DE CROMO VI PROVENIENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE CURTIEMBRE*. El Salvador: Universidad De El Salvador. Pág. 162.
- [37]. InstrumentosTécnicos. (2019). Tamiz, qué es. Extraído de <https://www.myminstrumentostecnicos.com/equipos-de-laboratorio/tamices/%E2%96%B6-tamiz-que-es/>
- [38]. Julajuj, A. (2017). Aceite quemado es el peor contaminante del Lago de Atitlán. Extraído de <https://www.prensalibre.com/ciudades/solola/aceite-quemado-es-el-peor-contaminante-del-lago-de-atitlan/>
- [39]. McCabe, W. (1998). *Operaciones Unitarias En Ingeniería Química, 4ta ed.* Madrid: McGRAW-HILLPNTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. Pág. 876; 797.
- [40]. Manahan, S. (2006). *Introducción a la química ambiental*. España. Reverte, S.A. Pág. 145-146.
- [41]. Marn. (2017). *MANUAL DE EDUCACIÓN AMBIENTAL SOBRE EL RECURSO HÍDRICO EN GUATEMALA*. Guatemala: Gobierno de la República de Guatemala.
- [42]. Melcsa. (2020). Absorbentes granulares. BRADY. Extraído de <http://www.melesa.com/productos/seguridad-industrial/absorbentes-y-contencion-de->

- [55]. RAE. (2021). Viscosidad. Extraído de <https://dle.rae.es/viscosidad>
- [56]. Rico, M y Santistéban, M. (1869). *Manual de Física y Química*, 7 ed. Madrid. Pág. 4.
- [57]. Robles, F. (2021). Materiales sintéticos. Extraído de <https://www.lifeder.com/materiales-sinteticos/>
- [58]. Rodríguez, P, *et al.* (2014). *Adsorción en carbón activado*. España. Universidad Da Coruña.
- [59]. Santiago, C. (2010). *Granulometría*. Chile. Pág. 1.
- [60]. Segal, C. (2005). *Manual de Practicas Biología Molecular de la Célula L*. México: UNAM. Pág. 23-24.
- [61]. Scout. (2021). Viscosidad del aceite. Extraído de <https://www.autoscout24.es/informacion/asesor/tecnologia-del-automovil/viscosidad-aceite-motor/>
- [62]. Sweeney, A. (2012). *Estadística para negocios y economía*, 11 ed. México. Cengage Learning S.A. Pág. 87.
- [63]. Treybal, R. (1997). *Operaciones de Transferencia de Masa*. 2ª. Ed. McGraw-Hill. México. 858 págs.
- [64]. Trupp, F, *et al.* (2019). *Mantas olefílicas hidrofóbicas*. Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- [65]. ULTRATECH INTERNATIONAL. (2021). *Ultra-X-Tex*. Applications. Florida.
- [66]. ULTRATECH INTERNATIONAL. (2021). *Comparison of Oil-Absorption Capabilities. Ultra-X-Tex vs. Traditional Polypropylene Fact Sheet*. Florida.
- [67]. Valverde, T y Cano-Santana, Z. (2005). *Ecología y medio ambiente*. México: PEARSONS EDUCACIÓN. Pág. 8.
- [68]. Wade, L.G. (2011). *Química Orgánica. Volumen 2*. 7ª ed. México: PEARSONS EDUCACIÓN. Pág. 729.
- [69]. Wade, L. G. (2017). *Química Orgánica. Volumen 1*. 9ª ed., Ciudad de México: Pearson Educación. Pág. 1239.
- [70]. Youngs, G., (2021). *Sorción de quinolonas a suelos agrícolas*. [online] Dialnet. Available at: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=251446>

XIII. ANEXOS

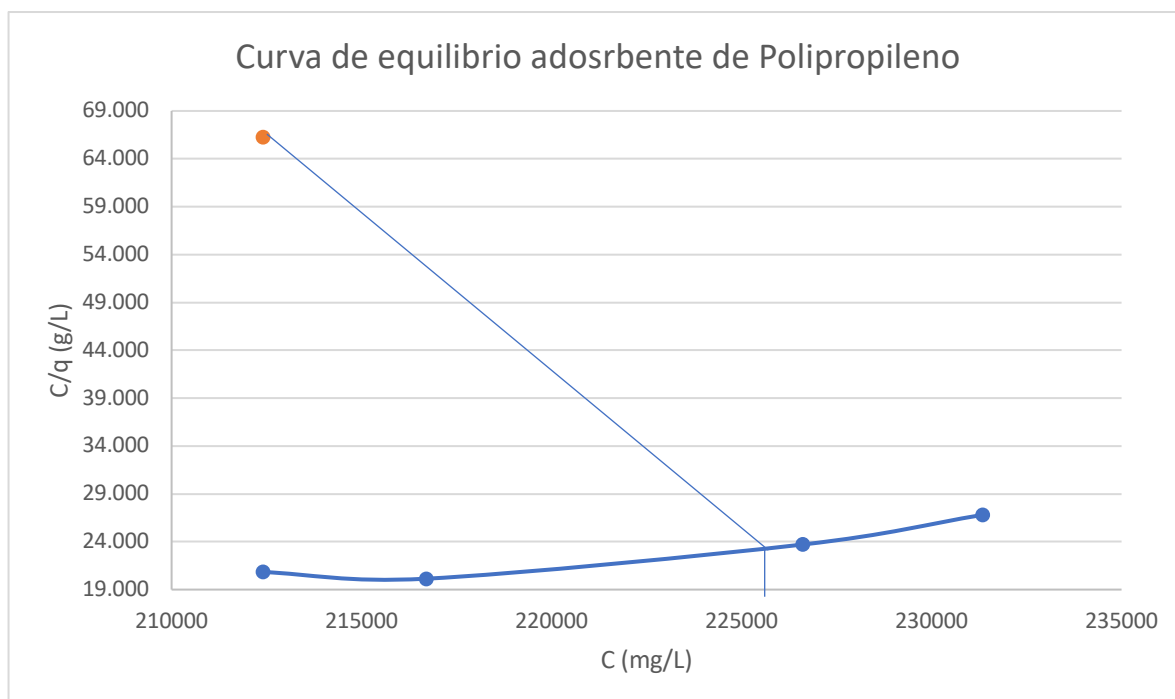
A. DATOS ORIGINALES

Ilustración 17. Determinación punto de saturación de adsorbente Ultra-x-Tex



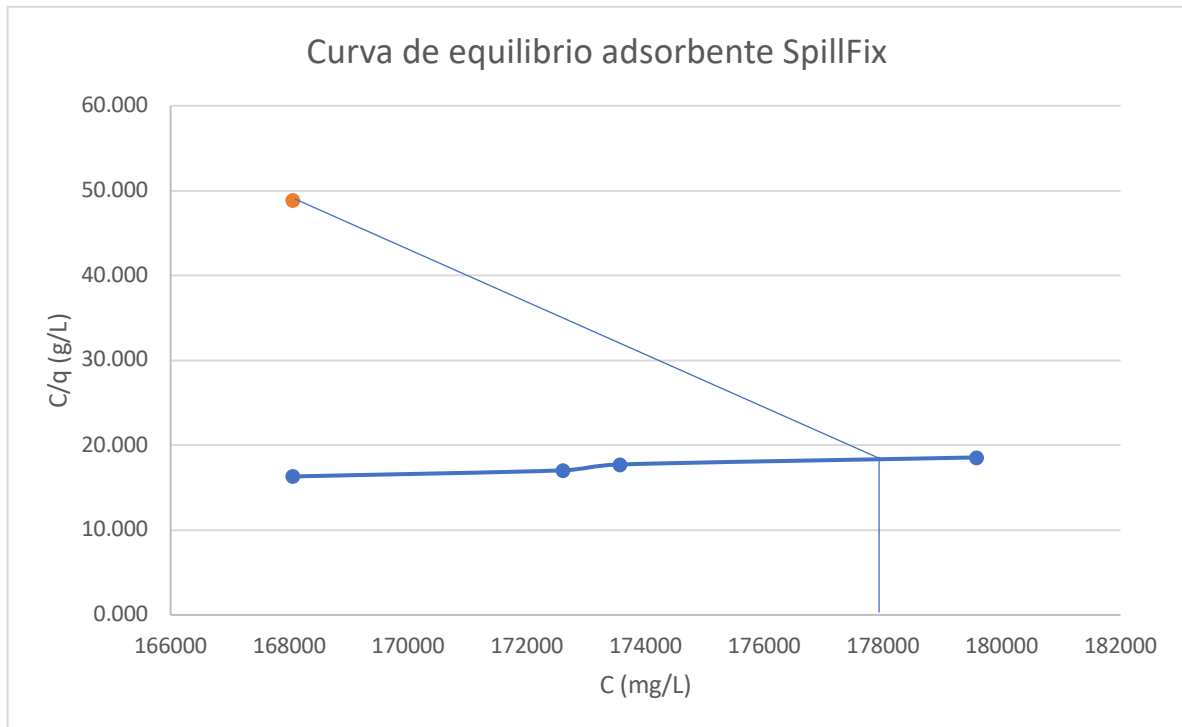
Nota: Elaboración propia. En la siguiente figura se graficó el punto de saturación del adsorbente a partir de la curva de equilibrio, usando el adsorbente Ultra-X-Tex. Se utilizaron los datos de la Ilustración No. 11, página (33) y de la Tabla No. 27-30, página (62-63).

Ilustración 18. Determinación punto de saturación de adsorbente de Polipropileno



Nota: Elaboración propia. En la siguiente figura se graficó el punto de saturación del adsorbente a partir de la curva de equilibrio, usando el adsorbente de Polipropileno. Se utilizaron los datos de la Ilustración No. 12, página (33) y de la Tabla No. 27-30, página (62-63).

Ilustración 19. Determinación punto de saturación de adsorbente SpillFix



Nota: Elaboración propia. En la siguiente figura se graficó el punto de saturación del adsorbente a partir de la curva de equilibrio, usando el adsorbente de Polipropileno. Se utilizaron los datos de la Ilustración No. 13, página (34) y de la Tabla No. 27-30, página (62-63).

Tabla 2. Resultados de análisis costo volumen de cada uno de los adsorbentes en estudio a partir de una mezcla con un volumen de 50 mL de agua y 50 mL de aceite

Adsorbente	Ultra-X-Tex	Polipropileno	SpillFix
Inversión inicial general (comprar 1 unidad)	Q 6,565.90	Q 703.69	Q 125.00
Costo por 1 unidad (cuadro de 7x7cm)	Q 0.28	Q 0.19	Q 0.35
Volumen de aceite (mL) adsorbidos por cm ² y por gramo	68	65	50
Cantidad de material necesario para remover 50 mL (0.07 L) de aceite	2	2	12
Cantidad de mantas y gramos (SpillFix) que el producto tiene	23,699.76	37.52	358.34
Volumen (mL) totales que se podrían remover de aceite por cm ² y por gramo	592,493.88	938.12	1,493.07
Volumen (L) totales que se podrían remover de aceite por m ² (mantas) y por gramo (adsorbente granular)	592.49	0.94	1.49
Costo estimado de mano de obra para la remoción de la cantidad de aceite	Q 92.88	Q 92.88	Q 92.88
Costo total de material necesario para remover 50mL (0.05 L) de aceite	Q 0.55	Q 0.38	Q 4.19
Costo total para remover 50 mL de aceite	Q 93.43	Q 93.26	Q 97.07
Relación costo/volumen para remover aproximadamente 50 mL (0.05 L)	Q 1.37	Q 1.43	Q 1.94

Nota: Elaboración propia. Se determinó el costo que se tendría al remover 1 mL de aceite de motor utilizando una manta de 7x7 cm y utilizando 1 gramo de adsorbente granular, por lo que se usó como volumen de estudio 50 mL de aceite y se determinaron las veces que fueron necesarias utilizar las mantas y cuantos gramos fueron necesario para remover dicha cantidad de aceite.

Tabla 3. Capacidad de sorción para tres diversos adsorbentes variando el tiempo de contacto

Capacidad sorción			
Tiempo	Ultra-X-Tex (±0.0001 g/g)	Polipropileno (±0.0001 g/g)	SpillFix (±0.0001 g/g)
2 minutos	12.9754	11.8567	7.8910
4 minutos	13.1576	12.5114	7.5122
6 minutos	12.9263	12.7398	7.6985
8 minutos	13.0385	11.5601	7.4701

Nota: Elaboración propia. Se determinó el valor de la capacidad de sorción del aceite en la mezcla de aceite de motor con agua a partir de cada uno de los adsorbentes en estudio, variando el tiempo de contacto del adsorbente. Los valores se pueden observar en la Ilustración No. 7 en la página (30), en la parte de resultados.

Tabla 4. Porcentaje de remoción para tres diversos adsorbentes variando el tiempo de contacto

PORCENTAJE DE REMOCIÓN			
Tiempo	Ultra-X-Tex (%)	Polipropileno (%)	SpillFix (%)
2 minutos	92.845±0.005	92.222±0.005	88.753±0.004
4 minutos	92.937±0.005	92.599±0.005	88.252±0.004
6 minutos	92.819±0.006	92.722±0.005	88.504±0.004
8 minutos	92.877±0.006	92.038±0.005	88.194±0.004

Nota: Elaboración propia. Se determinó el valor del porcentaje de remoción del aceite en la mezcla de aceite de motor con agua a partir de cada uno de los adsorbentes en estudio variando el tiempo de contacto de los adsorbentes. Los valores se pueden observar en la Ilustración No. 8 en la página (30), en la parte de resultados.

Tabla 5. Capacidad de sorción para tres diversos adsorbentes variando el volumen de la mezcla aceite-agua

Capacidad sorción			
Tiempo	Ultra-X-Tex (±0.0001 g/g)	Polipropileno (±0.0001 g/g)	SpillFix (±0.0001 g/g)
50:10	12.5114	11.6452	7.5710
50:30	12.9613	11.6648	7.6393
50:50	13.0948	12.5726	7.6988

Nota: Elaboración propia. Se determinó el valor de la capacidad de sorción del aceite en la mezcla de aceite de motor con agua a partir de cada uno de los adsorbentes en estudio, variando el volumen de la mezcla de agua y aceite de motor. Los valores se pueden observar en la Ilustración No. 9 en la página (31), en la parte de resultados.

Tabla 6. Porcentaje de remoción para tres diversos adsorbentes variando el volumen de la mezcla aceite-agua

PORCENTAJE DE REMOCIÓN			
Relación volúmenes	Ultra-X-Tex (g/g)	Polipropileno (g/g)	SpillFix (g/g)
50:10	92.599±0.005	92.092±0.005	88.333±0.004
50:30	92.837±0.005	92.104±0.005	88.425±0.004
50:50	92.905±0.005	92.632±0.006	88.504±0.004

Nota: Elaboración propia. Se determinó el valor del porcentaje de remoción del aceite en la mezcla de aceite de motor con agua a partir de cada uno de los adsorbentes en estudio variando la relación del volumen entre el agua y el aceite. Los valores se pueden observar en la Ilustración No. 10 en la página (31), en la parte de resultados.

Tabla 7. Valores de la concentración del adsorbato y la capacidad de adsorción del adsorbente para la elaboración de las curvas de equilibrio para el adsorbente Ultra-X-Tex

C (mg/L)	C/q (g/L)	log X	log Y
232311	24.842	5.36607	1.3952
225495	22.179	5.35314	1.3459
210143	18.019	5.32251	1.2557
201589	15.729	5.30447	1.1967

Nota: Elaboración propia. Se determinaron los valores de los parámetros C y C/q, para generar la curva de equilibrio del adsorbente Ultra-X-Tex.

Tabla 8. Valores de la concentración del adsorbato y la capacidad de adsorción del adsorbente para la elaboración de las curvas de equilibrio para el adsorbente de Polipropileno

C (mg/L)	C/q (g/L)	log X	log Y
231347	26.807	5.36426	1.4282
226606	23.706	5.35527	1.3749
216691	20.135	5.33584	1.3040
212406	20.833	5.32717	1.3188

Nota: Elaboración propia. Se determinaron los valores de los parámetros C y C/q, para generar la curva de equilibrio del adsorbente de Polipropileno.

Tabla 9. Valores de la concentración del adsorbato y la capacidad de adsorción del adsorbente para la elaboración de las curvas de equilibrio para el adsorbente SpillFix

C (mg/L)	C/q (g/L)	log X	log Y
179567	18.559	5.25423	1.2686
173562	17.729	5.23945	1.2487
172607	17.039	5.23706	1.2314
168055	16.319	5.22545	1.2127

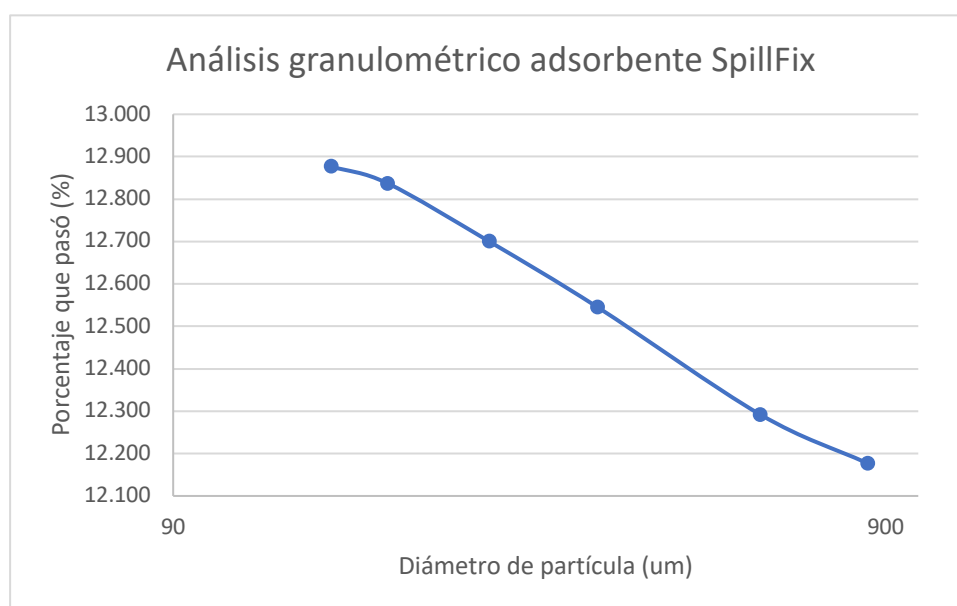
Nota: Elaboración propia. Se determinaron los valores de los parámetros C y C/q, para generar la curva de equilibrio del adsorbente SpillFix.

Tabla 10. Resultados de las variables n, m y R² para los tres adsorbentes analizados

Constante	Ultra-X-Tex	Polipropileno	SpillFix
n	3.1638	3.1077	1.9685
m	2.600E-16	5.546E-16	8.461E-10
R ²	0.9984	0.8758	0.9500

Nota: Elaboración propia. Se determinaron dichas variables a partir de las figuras 11-13 para cada uno de los adsorbentes. Los valores se pueden observar en las ilustraciones No. 14-16 en la página (45- 46), en la parte de resultados.

Ilustración 20. Análisis granulométrico para determinar el rango del tamaño de partícula del adsorbente SpillFix



Nota: Elaboración propia. Se realizó la curva para el análisis granulométrico para el adsorbente SPILLFIX. Se utilizaron los datos de la Tabla No.11, de la sección de anexos.

Tabla 11. Datos originales para el análisis granulométrico del adsorbente SpillFix

Plato No.	Tamaño (micrometros)	Diámetro de partícula (mm)	Peso plato sin nada (g)	Peso plato con sólido (g)	Diferencia (g)	Porcentaje	%	Porcentaje que paso (%)
20	850	0.850	382.2	386.5	4.3	0.16	16	12
30	600	0.600	369.1	372.3	3.2	0.12	12	12
45	355	0.355	330.7	337.7	7.0	0.25	25	13
60	250	0.250	330.0	334.3	4.3	0.16	16	13
80	180	0.180	338.3	342.1	3.8	0.14	14	13
100	150	0.150	324.0	325.1	1.1	0.040	4.0	13
Finos			463.8	467.8	4.0	0.14	14	13
				Σ	27.7	1.0	100	

Nota: Elaboración propia. Se utilizó el equipo de Tamizaje del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala para este análisis y se utilizó una balanza tipo OHAUS para determinar los pesos de los platos.

Tabla 12. Datos promedio para el análisis del agua de entrada limpia y salida luego de adsorciones

Adsorbente	DBO inicio (mg/L)	DBO salida (mg/L)	Turbidez inicio	Turbidez salida
Ultra-X-Tex	0.48	8.58	6.83	9.71
Polipropileno	0.47	5.12	6.85	4.25
SpillFix	0.48	8.80	6.87	27.12

Nota: Análisis realizado en la Universidad Rafael Landívar y en la Universidad del Valle de Guatemala. Se utilizaron los equipos HACH 890, pH marca Hanna para el análisis de entrada y salida del agua contaminada con aceite de motor antes y después de las adsorciones con los tres distintos adsorbentes.

Tabla 13. Datos promedio para el análisis del agua de entrada con aceite de motor usado y salida luego de las adsorciones

Adsorbente	DQO inicio (mg/L)	DQO salida (mg/L)	Turbidez inicio	pH inicio	pH salida
Ultra-X-Tex	73.00	55.00	6.83	7.10	7.10
Polipropileno	96.67	55.00	6.85	6.33	6.00
SpillFix	116.33	55.00	6.87	7.01	6.10

Nota: Análisis realizado en la Universidad Rafael Landívar y en la Universidad del Valle de Guatemala. Se utilizaron los equipos HACH 890, pH marca Hanna para el análisis de entrada y salida del agua contaminada con aceite de motor antes y después de las adsorciones con los tres distintos adsorbentes.

Tabla 14. Datos promedios para la determinación de la capacidad de sorción del adsorbente Ultra-X-Tex variando el tiempo de contacto

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción	Tiempo (min)
1	1.7904	25.0215	23.2311	12.9754	2
2	1.7138	24.2633	22.5495	13.1576	4
3	1.6257	22.64	21.0143	12.9263	6
4	1.5461	21.705	20.1589	13.0385	8

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos datos para los resultados de la Tabla No. 2 y para la Figura 7 en la parte de anexos y resultados, páginas (30 y 53).

Tabla 15. Datos promedios para la determinación de la capacidad de sorción del adsorbente de Polipropileno variando el tiempo de contacto

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción	Tiempo (min)
1	1.9512	25.0859	23.1347	11.8567	2
2	1.8112	24.4718	22.6606	12.5114	4
3	1.7009	23.3700	21.6691	12.7398	6
4	1.8374	23.0780	21.2406	11.5601	8

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos datos para los resultados de la No. 2 y para la Figura 7 en la parte de anexos y resultados, páginas (30 y 53).

Tabla 16. Datos promedios para la determinación de la capacidad de sorción del adsorbente SpillFix variando el tiempo de contacto

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción	Tiempo (min)
1	2.2756	20.2323	17.9567	7.8910	2
2	2.3104	19.6666	17.3562	7.5122	4
3	2.2421	19.5028	17.2607	7.6985	6
4	2.2497	19.0552	16.8055	7.4701	8

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos datos para los resultados de la Tabla No. 2 y para la Figura 7 en la parte de anexos y resultados, páginas (30 y 53).

Tabla 17. Datos promedios para la determinación de la capacidad de sorción del adsorbente de Polipropileno variando el volumen de la mezcla

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción	Tiempo (min)
1	1.7904	22.6400	20.8496	11.6452	1
2	1.7138	21.7050	19.9912	11.6648	2
3	1.4980	20.3317	18.8337	12.5726	3

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos datos para los resultados de la Tabla No. 5 y para la Figura 9 en la parte de anexos y resultados, páginas (31 y 54).

Tabla 18. Datos promedios para la determinación de la capacidad de sorción del adsorbente Ultra-X-Tex variando el volumen de la mezcla

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción	Tiempo (min)
1	1.8112	24.4718	22.6606	12.5114	1
2	1.6812	23.4718	21.7906	12.9613	2
3	1.8374	25.8978	24.0604	13.0948	3

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos datos para los resultados de la Tabla No. 5 y para la Figura 9 en la parte de anexos y resultados, páginas (31 y 54).

Tabla 19. Datos promedios para la determinación de la capacidad de sorción del adsorbente SpillFix variando el volumen de la mezcla

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción	Tiempo (min)
1	2.0421	17.5028	15.4607	7.5710	1
2	2.1104	18.2323	16.1219	7.6393	2
3	2.0756	18.0552	15.9796	7.6988	3

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos datos para los resultados de la Tabla No. 5 y para la Figura 9 en la parte de anexos y resultados, páginas (31 y 54).

Tabla 20. Datos originales promedios para la elaboración de la curva de retención y la curva de equilibrio del adsorbente Ultra-X-Tex

Masa adsorbente	Ce adsorbato en solución (mg/L)	$x=c_0-ce$ (mg/L)	$q=x/m$ (mg/g)
0	399738	0	--
1.7904	232311	167427	9351.4
1.7138	225495	174243	10167
1.6257	210143	189595	11662
1.5461	201589	198149	12816

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos datos para los resultados de la Tabla No. 7 y para las figuras 11 y 14 en la parte de anexos y resultados, páginas (33, 34 y 55).

Tabla 21. Datos originales promedios para la elaboración de la curva de retención y la curva de equilibrio del adsorbente de Polipropileno

Masa adsorbente	Ce adsorbato en solución (mg/L)	$x=c_0-ce$ (mg/L)	$q=x/m$ (mg/g)
0	399738	0	--
1.9512	231347	168391	8630.1
1.8112	226606	173132	9559.0
1.7009	216691	183047	10762
1.8374	212406	187332	10195

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos datos para los resultados de la Tabla No. 8 y para las figuras 12 y 15 en la parte de anexos y resultados, páginas (33, 35 y 55).

Tabla 22. Datos originales promedios para la elaboración de la curva de retención y la curva de equilibrio del adsorbente SpillFix

Masa adsorbente	Ce adsorbato en solución (mg/L)	$x=c_0-c_e$ (mg/L)	$q=x/m$ (mg/g)
0	399738	0	--
2.2756	179567	220171	9675.3
2.3104	173562	226176	9789.5
2.2421	172607	227131	10130
2.2497	168055	231683	10298

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos datos para los resultados de la Tabla No. 9 y para las figuras 13 y 16 en la parte de anexos y resultados, páginas (34, 35 y 56).

Tabla 23. Datos originales para la determinación de la densidad del aceite de motor utilizado para el estudio

Prueba No.	Picnómetro vacío (g)	Picnómetro con aceite (g)	diferencia (g)	densidad (± 0.0001 g/mL)
1	34.0308	53.6462	19.6154	0.801
2	34.6769	54.1281	19.4512	0.794
3	34.4590	54.1539	19.6949	0.804
promedio	34.3889	53.9761	19.5872	0.799

Nota: Elaboración propia. Se utilizó un picnómetro y se realizaron las pruebas a temperatura ambiente. Se utilizaron estos datos para determinar la concentración del adsorbato en el equilibrio, las cuales se pueden observar en las tablas 7-9 en la parte de anexos en las páginas (55 y 56).

Tabla 24. Datos originales para la determinación de la viscosidad del aceite de motor utilizado para el estudio

Prueba No.	Tiempo caída aceite (s)	Volumen aceite (mL)	Volumen aceite (m ³)	Gravedad (m/s ²)	Densidad aceite (kg/m ³)	Viscosidad (Pa*s)
1	46	200	0.0002	9.8	0.799	0.07
2	47	200	0.0002	9.8	0.799	0.07
3	47	200	0.0002	9.8	0.799	0.07
Promedio	47		0.0002			0.07

Nota: Elaboración propia. Se realizó el análisis siguiendo la parte de la metodología para determinar la viscosidad del aceite de motor utilizado para el estudio. Las pruebas fueron realizadas a temperatura ambiente.

Tabla 25. Porcentaje de error de las capacidades de sorción de cada adsorbente, variando el tiempo de contacto

No. Prueba	ULTRA-TEX	Polipropileno	SPILLFIX
1	0.19%	1.2%	1.4%
2	1.2%	4.3%	6.1%
3	0.57%	6.2%	3.8%
4	0.30%	3.7%	6.6%

Nota: Elaboración propia. Se realizó el análisis del porcentaje de error de cada adsorbente comparando el valor teórico de cada uno con los valores experimentales obtenidos.

Tabla 26. Porcentaje de error de las capacidades de sorción de cada adsorbente, variando el volumen de la mezcla inmiscible

No. Prueba	ULTRA-TEX	Polipropileno	SPILLFIX
1	10%	4.3%	5.4%
2	10%	8.0%	4.5%
3	3.3%	9.1%	3.8%

Nota: Elaboración propia. Se realizó el análisis del porcentaje de error de cada adsorbente comparando el valor teórico de cada uno con los valores experimentales obtenidos.

Tabla 27. Valores Y0 para determinar los puntos de saturación de los tres adsorbentes utilizados en el estudio

PORCENTAJE DE REMOCIÓN (%) para Y1			
Tiempo	Ultra-X-Tex	Polipropileno	SpillFix
2	7.1554	7.7781	11.2474
4	7.0633	7.4012	11.7478
6	7.1807	7.2781	11.4963
8	7.1232	7.9617	11.8062

Nota: Elaboración propia. Se determinó el valor de Y0 (cantidad de aceite en el agua) a partir de los porcentajes de error de cada uno de los adsorbentes.

Tabla 28. Valores Ss/Ls para determinar punto de saturación de cada adsorbente

	Ss/Ls		
Tiempo	Ultra-X-Tex	Polipropileno	SpillFix
2	0.00024	0.00024	0.00024
4	0.00024	0.00024	0.00023
6	0.00024	0.00025	0.00024
8	0.00024	0.00023	0.00023
promedio	0.00024	0.00024	0.00024

Nota: Elaboración propia. Se determinó dicho valor a partir de los valores de porcentajes de remoción de aceite para cada adsorbente.

Tabla 29. Valores "X" para la elaboración de coordenada para punto de saturación

Tiempo	Ultra-X-Tex	Polipropileno	SpillFix
2	232,311.00000	231,347.00000	179,567.00000
4	225,495.00000	226,606.00000	173,562.00000
6	210,143.00000	216,691.00000	172,607.00000
8	201,589.00000	212,406.00000	168,055.00000

Nota: Elaboración propia. Se determinó dicho valor a partir de los valores de concentración de aceite para cada adsorbente.

Tabla 30. Valores de "Y" para elaboración de coordenada para punto de saturación

Tiempo	Ultra-X-Tex	Polipropileno	SpillFix
2	71.62777	70.77907	51.63989
4	69.98347	69.64123	50.21638
6	66.27995	67.26164	49.98999
8	64.21638	66.23325	48.91091

Nota: Elaboración propia. Se determinó dicho valor a partir de los valores de porcentajes de remoción de aceite para cada adsorbente y a partir del valor promedio de Ss/Ls para cada adsorbente y utilizando los valores "X" evaluados en cada una de las rectas obtenidas para cada uno de los adsorbentes a partir de las linealizaciones de la curva de equilibrio.

Tabla 31. Valores de saturación para cada adsorbente evaluado

Adsorbente	Volumen (mL)
Ultra-X-TEX	28.14718
Polipropileno	28.14468
SpillFix	9.74647

Nota: Elaboración propia. Se determinó dicho valor a partir de los valores de porcentajes de remoción de aceite para cada adsorbente, a partir del valor promedio de Ss/Ls para cada adsorbente y a partir de los valores de la Tabla No. 28 (página 63).

Tabla 32. Valores originales adsorbente Ultra-X-TEX tiempo de contacto de 2 minutos

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	1.7905	25.0202	23.2297	12.9739
2	1.7901	24.3603	22.5702	12.6083
3	1.7906	25.6840	23.89341	13.3439
promedio	1.7904	25.0215	23.23110333	12.9754

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente Ultra-X-TEX para un tiempo de contacto de 2 minutos.

Tabla 33. Valores originales adsorbente Ultra-X-TEX tiempo de contacto 4 minutos

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	1.7128	25.0011	23.2883	13.5966
2	1.7130	23.0876	21.3746	12.4779
3	1.7156	24.7012	22.9856	13.3983
promedio	1.7138	24.2633	22.5495	13.1576

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente Ultra-X-TEX para un tiempo de contacto de 4 minutos.

Tabla 34. Valores originales adsorbente Ultra-X-Tex tiempo de contacto 6 minutos

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	1.6254	19.8798	18.2544	11.2307
2	1.6258	21.6574	20.0317	12.3215
3	1.6259	26.3828	24.7569	15.2266
promedio	1.6257	22.6400	21.0143	12.9263

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente Ultra-X-Tex para un tiempo de contacto de 6 minutos.

Tabla 35. Valores originales adsorbente Ultra-X-Tex tiempo de contacto de 8 minutos

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	1.5453	20.1932	18.6479	12.0673
2	1.5460	20.8979	19.3519	12.5174
3	1.5469	24.0239	22.4770	14.5307
promedio	1.5461	21.7050	20.1589	13.0385

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente Ultra-X-Tex para un tiempo de contacto de 8 minutos.

Tabla 36. Valores originales adsorbente Polipropileno tiempo de contacto de 2 minutos

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	1.9510	25.0202	23.0692	11.8243
2	1.9512	24.3603	22.4091	11.4848
3	1.9514	25.8772	23.9258	12.2609
promedio	1.9512	25.0859	23.1347	11.8567

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente Polipropileno para un tiempo de contacto de 2 minutos.

Tabla 37. Valores originales adsorbente Polipropileno tiempo de contacto de 4 minutos

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	1.8110	25.0011	23.1901	12.8051
2	1.8111	23.0876	21.2765	11.7478
3	1.8115	25.3267	23.5152	12.9811
promedio	1.8112	24.4718	22.6606	12.5114

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente Polipropileno para un tiempo de contacto de 4 minutos.

Tabla 38. Valores originales adsorbente Polipropileno tiempo de contacto de 6 minutos

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	1.7006	23.3699	21.6693	12.7421
2	1.7008	23.3700	21.6692	12.7406
3	1.7013	23.3700	21.6687	12.7366
promedio	1.7009	23.3700	21.6691	12.7398

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente Polipropileno para un tiempo de contacto de 6 minutos.

Tabla 39. Valores originales adsorbente Polipropileno tiempo de contacto de 8 minutos

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	1.8372	23.0778	21.2406	11.5614
2	1.8374	23.0779	21.2405	11.5601
3	1.8376	23.0782	21.2406	11.5589
promedio	1.8374	23.0780	21.2406	11.5601

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente Polipropileno para un tiempo de contacto de 8 minutos.

Tabla 40. Valores originales adsorbente SpillFix tiempo de contacto de 2 minutos

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	2.2754	20.2320	17.9566	7.8916
2	2.2756	20.2322	17.9566	7.8909
3	2.2758	20.2326	17.9568	7.8903
promedio	2.2756	20.2323	17.9567	7.8910

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente SpillFix para un tiempo de contacto de 2 minutos.

Tabla 41. Valores originales adsorbente SpillFix tiempo de contacto de 4 minutos

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	2.3100	19.6660	17.356	7.5134
2	2.3103	19.6668	17.3565	7.5127
3	2.3109	19.6669	17.3560	7.5105
promedio	2.3104	19.6666	17.3562	7.5122

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente SpillFix para un tiempo de contacto de 4 minutos.

Tabla 42. Valores originales adsorbente SpillFix tiempo de contacto de 6 minutos

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	2.2420	19.5025	17.2605	7.6987
2	2.2420	19.5028	17.2608	7.6988
3	2.2423	19.5030	17.2607	7.6978
promedio	2.2421	19.5028	17.2607	7.6985

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente SpillFix para un tiempo de contacto de 6 minutos.

Tabla 43. Valores originales adsorbente SpillFix tiempo de contacto de 8 minutos

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	2.2494	19.0549	16.8055	7.4711
2	2.2498	19.0551	16.8053	7.4697
3	2.2499	19.0555	16.8056	7.4695
promedio	2.2497	19.0552	16.8055	7.4701

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente SpillFix para un tiempo de contacto de 8 minutos.

Tabla 44. Valores originales adsorbente Ultra-X-Tex para mezcla inmiscible 50:10 ml

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	1.8110	24.4716	22.6606	12.5128
2	1.8111	24.4718	22.6607	12.5121
3	1.8115	24.4720	22.6605	12.5092
promedio	1.8112	24.4718	22.6606	12.5114

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente Ultra-X-Tex para una mezcla inmiscible entre agua-aceite de motor usado de 50:10 ml respectivamente.

Tabla 45. Valores originales adsorbente Ultra-X-Tex para mezcla inmiscible 50:30 ml

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	1.6810	23.4712	21.7902	12.9626
2	1.6812	23.4717	21.7905	12.9613
3	1.6814	23.4724	21.7910	12.9600
promedio	1.6812	23.4718	21.7906	12.9613

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente Ultra-X-Tex para una mezcla inmiscible entre agua-aceite de motor usado de 50:30 ml respectivamente.

Tabla 46. Valores originales adsorbente Ultra-X-Tex para mezcla inmiscible 50:50 ml

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	1.8371	25.8974	24.0603	13.0969
2	1.8373	25.8978	24.0605	13.0956
3	1.8378	25.8982	24.0604	13.0920
promedio	1.8374	25.8978	24.0604	13.0948

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente Ultra-X-Tex para una mezcla inmiscible entre agua-aceite de motor usado de 50:50 ml respectivamente.

Tabla 47. Valores originales adsorbente Polipropileno para mezcla inmiscible 50:10 ml

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	1.9510	25.0856	23.1346	11.8578
2	1.9512	25.0860	23.1348	11.8567
3	1.9514	25.0862	23.1348	11.8555
promedio	1.9512	25.0859	23.1347	11.8567

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente Polipropileno para una mezcla inmiscible entre agua-aceite de motor usado de 50:10 ml respectivamente.

Tabla 48. Valores originales adsorbente Polipropileno para mezcla inmiscible 50:30 ml

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	1.8110	24.4716	22.6606	12.5128
2	1.8112	24.4717	22.6605	12.5113
3	1.8114	24.4720	22.6606	12.5100
promedio	1.8112	24.4718	22.6606	12.5114

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente Polipropileno para una mezcla inmiscible entre agua-aceite de motor usado de 50:30 ml respectivamente.

Tabla 49. Valores originales adsorbente Polipropileno para mezcla inmiscible 50:50 ml

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	1.7006	23.3698	21.6692	12.7421
2	1.7010	23.3700	21.6690	12.7390
3	1.7011	23.3702	21.6691	12.7383
promedio	1.7009	23.3700	21.6691	12.7398

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente Polipropileno para una mezcla inmiscible entre agua-aceite de motor usado de 50:50 ml respectivamente.

Tabla 50. Valores originales adsorbente SpillFix para mezcla inmiscible 50:10 ml

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	2.2754	20.2320	17.9566	7.8916
2	2.2756	20.2323	17.9567	7.8910
3	2.2758	20.2325	17.9567	7.8903
promedio	2.2756	20.2323	17.9567	7.8910

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente SpillFix para una mezcla inmiscible entre agua-aceite de motor usado de 50:10 ml respectivamente.

Tabla 51. Valores originales adsorbente SpillFix para mezcla inmiscible 50:30 ml

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	2.3100	19.6665	17.3565	7.5136
2	2.3106	19.6665	17.3559	7.5114
3	2.3106	19.6667	17.3561	7.5115
promedio	2.3104	19.6666	17.3562	7.5122

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente SpillFix para una mezcla inmiscible entre agua-aceite de motor usado de 50:30 ml respectivamente.

Tabla 52. Valores originales adsorbente SpillFix para mezcla inmiscible 50 :50 ml

Prueba No.	Inicial adsorbente (g)	Final adsorbente (g)	Diferencia (g)	Capacidad sorción
1	2.2419	19.5024	17.2605	7.6990
2	2.2421	19.5026	17.2605	7.6984
3	2.2423	19.5033	17.2610	7.6979
promedio	2.2421	19.5028	17.2607	7.6985

Nota: Elaboración propia. Se utilizaron estos valores para la determinación de la capacidad de sorción promedio del adsorbente SpillFix para una mezcla inmiscible entre agua-aceite de motor usado de 50:50 ml respectivamente.

B. CÁLCULOS DE MUESTRA

Cálculo 1. Capacidad de sorción de los adsorbentes.

$$25.0215 \text{ g} - 1.7904 \text{ g} = 23.2311 \text{ g}$$

$$\frac{23.2311 \text{ g}}{1.7904 \text{ g}} = 12.9753$$

Con los cálculos obtenidos en cálculos de muestra, se obtuvo la capacidad de sorción del adsorbente ULTRA-X-TEX, por lo cual se utilizó la masa del aceite adsorbido, la cual se cálculo con la resta entre el adsorbente sin aceite y el adsorbente con aceite y la masa del adsorbente inicialmente. Se realizó el mismo cálculo para las otras 3 pruebas y con los otros 2 adsorbentes estudiados. Los resultados se pueden observar en las tablas 3 y 5 en la página (54).

Cálculo 2. Porcentaje de remoción.

$$100 - \left(\frac{23.2311 \text{ g}}{1.7904 \text{ g}} \right) * 100 = 92.845$$

Con los cálculos obtenidos en cálculos de muestra, se obtuvo el porcentaje de remoción del adsorbente ULTRA-X-TEX, por lo cual se utilizó la masa del aceite adsorbido y la masa del adsorbente inicialmente. Se realizó el mismo cálculo para las otras 3 pruebas y con los otros 2 adsorbentes estudiados. Los resultados se pueden observar en las tablas 4 y 6 en las páginas (54 y 55).

Cálculo 3. C_e (concentración en el equilibrio).

$$C_e = (g_e)(v_e) \quad (ec. 7)$$

$$\left(23.2311g * \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}}\right) \left(\frac{100 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}}\right) = 232,311 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Con los cálculos obtenidos en cálculos de muestra, se obtuvo la concentración en el equilibrio del adsorbente ULTRA-X-TEX, por lo cual se utilizó la masa del aceite adsorbido y el volumen de la mezcla aceite-agua. Se realizó el mismo cálculo para las otras 3 pruebas y con los otros 2 adsorbentes estudiados. Los resultados se pueden observar en las tablas 20-22 en la página (60 y 61).

Cálculo 4. Valor de x (diferencia entre la concentración inicial y la concentración en equilibrio).

$$x = c_0 - c_e \quad (ec. 8)$$

$$399,738.10 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 232,311.00 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 167,427.10 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Con los datos obtenidos en el cálculo del C_e se calculó el valor de x . Se tomó como valor inicial el valor de $399,738.10 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ el cual es el valor del adsorbato en la mezcla de aceite-agua sin que haya adsorbente para el adsorbente ULTRA-X-TEX. Se realizó el mismo cálculo para los demás datos y para los otros 2 adsorbentes. Los resultados se pueden observar en las tablas 20-22 en la página (60 y 61).

Cálculo 5. Valor de q (concentración de adsorbato en adsorbente).

$$q = \frac{x}{m} \text{ (ec. 9)}$$

$$\left(\frac{167,427.10 \frac{mg}{L}}{1.7904 g} \right) * \left(100 * \frac{1 L}{1000 mL} \right) = 9,351.4 \frac{mg}{g}$$

Con los cálculos obtenidos en cálculos de muestra, se obtuvo la concentración del adsorbato en el adsorbente, del adsorbente ULTRA-X-TEX, por lo cual se utilizó la masa del aceite adsorbido, el valor de x (diferencia entre concentración inicial y concentración en equilibrio) y el volumen de la mezcla aceite-agua. Se realizó el mismo cálculo para las otras 3 pruebas y con los otros 2 adsorbentes estudiados. Los resultados se pueden observar en las tablas 20-22 en la página (60 y 61).

Cálculo 6. Capacidad de adsorción del adsorbente (C/q).

$$\frac{232,311.00 \frac{mg}{L}}{9,351.3793 \frac{mg}{g}} = 24.842 \frac{g}{L}$$

Con los cálculos obtenidos en cálculos de muestra, se obtuvo la capacidad de adsorción del adsorbente ULTRA-X-TEX, por lo cual se utilizó el Ce y el valor de q. Se realizó el mismo cálculo para las otras 3 pruebas y con los otros 2 adsorbentes estudiados. Los resultados se pueden observar en las tablas 20-22 en la página (60 y 61).

Cálculo 7. Log de X (C, concentración del adsorbato).

$$\log C \text{ (ec. 10)}$$

$$\log \left(232,311.00 \frac{mg}{L} \right) = 5.3661 \frac{mg}{L}$$

Con los cálculos obtenidos en el cálculo anterior, se obtuvo el valor del logaritmo de X; es decir de la concentración del adsorbato en el adsorbente ULTRA-X-TEX. Se realizó el mismo cálculo para las otras 3 pruebas y con los otros 2 adsorbentes estudiados. Los resultados se pueden observar en las tablas 7-9 en las páginas (55 y 56).

Cálculo 8. Log de Y (C/q; capacidad de adsorción del adsorbente).

$$\log \frac{C}{q} \quad (\text{ec. 11})$$

$$\log \left(24.8424 \frac{g}{L} \right) = 1.40 \frac{g}{L}$$

Con los cálculos obtenidos en el cálculo 6, se obtuvo el valor del logaritmo de Y; es decir del logaritmo de la capacidad de adsorción del adsorbente ULTRA-X-TEX. Se realizó el mismo cálculo para las otras 3 pruebas y con los otros 2 adsorbentes estudiados. Los resultados se pueden observar en las tablas 7-9 en las páginas (55 y 56).

Cálculo 9. Densidad del aceite de motor utilizado.

$$53.6462 \text{ g} - 34.0308 \text{ g} = 19.6154 \text{ g}$$

$$\frac{19.6154 \text{ g}}{24.5 \text{ mL}} = 0.8006 \frac{\text{g}}{\text{mL}}$$

Con la diferencia del picnómetro vacío y con el picnómetro lleno de aceite de motor se obtuvo el valor de los gramos de aceites contenidos en dicho recipiente. Se utilizó la cantidad de mililitros utilizados los cuales fueron 24.5 mL y se dividió la cantidad de gramos previamente calculados de aceite dentro de dicho volumen, para así obtener la densidad del aceite de motor. Se realizó el mismo cálculo para las otras 3 pruebas. Los resultados se pueden observar en la Tabla 23 en la página (61).

Cálculo 10. Viscosidad del aceite de motor utilizado.

$$(46 \text{ s}) * (0.0002 \text{ m}^3) * \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) * (0.7995) = 0.07208 \text{ Pa} * \text{s}$$

Se utilizó el tiempo en el que caía el aceite en el embudo hacia la probeta, el volumen de aceite utilizado el cual fue de 200 mL, el valor de la gravedad como constante la cual es de $9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ y el valor promedio de la densidad del aceite calculado. Se realizó el mismo cálculo para las otras 3 pruebas. Los resultados se pueden observar en la Tabla 24 en la página (61).

Cálculo 11. Valor de “ Y_0 ” para determinación del punto de saturación de adsorbentes

$$Y_1 = 100\% - \text{porcentaje de remoción determinado del adsorbente}$$

$$Y_1 = 100 - 92.845 = 7.1554$$

Se determinó el valor de la cantidad de aceite en el agua a partir del porcentaje de remoción del adsorbente ULTRA-X-TEX variando el tiempo de contacto. Se realizó el mismo cálculo para los otros 3 tiempos; asimismo, se realizaron todos los cálculos anteriores con los otros dos adsorbentes. Los resultados se encuentran en la Tabla 27 en la parte de anexos página (62).

Cálculo 12. Valor de “ Ss/Ls ” para determinación del punto de saturación de adsorbentes

$$\frac{Ss}{Ls} = \frac{Y_0 - Y_1}{(Y_1/m)^{1/n}}$$

$$\frac{Ss}{Ls} = \frac{44.9869 - 7.1554}{(7.1554/2.6 * 10^{-16})^{1/3.1638}} = 0.00024$$

Se determinó el valor de la pendiente Ss/Ls (sólido seco/líquido sin soluto) del adsorbente ULTRA-X-TEX variando el tiempo de contacto. A partir de los valores de n y m determinados a partir de la linealización de la curva de equilibrio. Se realizó el mismo cálculo para los otros 3 tiempos; asimismo, se realizaron todos los cálculos anteriores con los otros dos adsorbentes. Los resultados se encuentran en la Tabla 28 en la parte de anexos página (63).

Cálculo 13. Valor de “ Y ” para coordenada del punto de saturación de adsorbentes

$$Y = 0.00024 * 232,311.00 + 15.585$$

Se determinó el valor de Y para la coordenada para el punto de saturación del adsorbente ULTRA-X-TEX variando el tiempo de contacto. A partir de los valores de Ss/Ls , X y el intercepto determinado a partir de la linealización de la curva de equilibrio. Se realizó el mismo cálculo para los otros 3 tiempos; asimismo, se realizaron todos los cálculos anteriores con los otros dos adsorbentes. Los resultados se encuentran en la Tabla 30 en la parte de anexos página (63).

Cálculo 14. Cálculo de pago de anualidades de préstamo bancario para compra de adsorbente Ultra-X-Tex

TASA			
A	B	C	D
128			Ultra-X-Tex
129		inversion inicial	Q 6,565.90
130		años	1
131		tasa	14%
132		mano de obra estimado el costo	Q 92.88
133			12;D129)

TASA			
A	B	C	D
			Ultra-X-Tex
		inversion inicial	Q 6,565.90
		años	1
		tasa	14%
		mano de obra estimado el costo	Q 92.88
			-Q1,161.45

Se realizó el cálculo de las anualidades para pagar el préstamo bancario utilizando la función pago en Microsoft Excel versión 16.56. Se utilizó tasa anual de 14% la cual se determinó del Banco Industrial. Se planteó 1 año (12 meses) hipotético del pago del préstamo. Lo cual dio un total de Q 1,161.45 de deuda. Se realizó el mismo cálculo para los otros dos adsorbentes estudiados. Los resultados se encuentran en la Tabla No. 1 en la parte de resultados página (32).

Cálculo 15. Cálculo total del pago de las anualidades de préstamo bancario y el pago de la mano de obra para la compra y el uso del adsorbente Ultra-X-Tex

$$Q1,161.45 + (12 * Q92.88) = Q2,276.01$$

Se realizó el cálculo del costo total de las anualidades para pagar el préstamo bancario determinado en el cálculo anterior, al cual se le sumó el costo de mano de obra necesaria en 1 año. Se estimó el uso de la mano de obra una vez al mes por 1 año y se determinó el valor del salario a partir del salario diario que gana una persona en el sector no agrícola. Lo cual dio un total de Q 2,276.01 de deuda. Se realizó el mismo cálculo para los otros dos adsorbentes estudiados. Los resultados se encuentran en la Tabla No. 1 en la parte de resultados página (32).

Cálculo 16. Cálculo del factor costo-beneficio del adsorbente Ultra-X-Tex

$$\frac{B}{C} = \frac{(Beneficio - Contrabeneficio)}{Costo}$$

$$\frac{B}{C} = \frac{(Q 1,531.00 - Q 3,866.85)}{-Q 2,276.01} = 1.03$$

Se realizó el cálculo del factor costo-beneficio del adsorbente Ultra-X-Tex. Se dividió la resta entre el beneficio (el ahorro no de comprar una trampa de grasas con un valor de Q1,531.00) menos el contrabeneficio que se llegaría a tener al querer purificar el agua utilizando un biofiltro (con un costo de Q3,866.85), dentro del costo total determinado en el cálculo anterior. Se realizó el mismo cálculo para los otros dos adsorbentes estudiados. Los resultados se encuentran en la Tabla No. 1 en la parte de resultados página (32).

Cálculo 17. Cantidad de cuadros de 7x7 cm que el adsorbente Ultra-X-Tex tiene

$$Cantidad \text{ cuadros de } 7 \times 7 \text{ cm} = \frac{(5 \times 250) \text{ ft}^2 * \left(\frac{929.03 \text{ cm}^2}{1 \text{ ft}^2} \right)}{49 \text{ cm}^2} = 23,699.76$$

Se determinaron la cantidad de cuadros de 7x7 cm que el adsorbente Ultra-X-Tex tenía a partir de las dimensiones del material las cuales son 5x250 pies cuadrados con lo que se determinó el área total en centímetros cuadrados, la cual se dividió entre el área de un cuadrado de 7x7 centímetros cuadrados (49 centímetros cuadrados). Se realizó el mismo cálculo para el adsorbente de Polipropileno. Para el adsorbente SpillFix se determinó por medio de los gramos totales que el envase del producto tiene. Los resultados se encuentran en la Tabla No. 2 en la parte de anexos página (53).

Cálculo 18. Cálculo del costo por unidad (cuadro de 7x7 cm) de adsorbente Ultra-X-Tex

$$\text{Costo por unidad} = \frac{\text{Costo del material}}{\text{Cantidad de cuadros de 7x7 cm en el adsorbente}}$$

$$\text{Costo por unidad} = \frac{Q 6,565.90}{23,699.76} = 0.28$$

Se realizó el cálculo del costo por unidad del adsorbente Ultra-X-Tex; por lo que, se utilizó el costo inicial del material el cual se vende como una tela el cual es de Q6,565.90 dentro de la cantidad de cuadros determinados en el cálculo anterior el cual fue de 23,699.76 cuadros. Se realizó el mismo cálculo para el adsorbente de Polipropileno. Para el adsorbente SpillFix se determinó por medio de los gramos totales que el envase del producto tiene. Los resultados se encuentran en la Tabla No. 2 en la parte de anexos página (53).

Cálculo 19. Cálculo del volumen total que el adsorbente podría remover con el adsorbente Ultra-X-Tex

$$= \frac{\text{Volumen de aceite total posible a remover} \\ (\text{Volumen base})(\text{cantidad de cuadros 7x7cm del adsorbente})}{\text{Cantidad de mantas necesarias para remover el volumen base}}$$

$$\text{Volumen de aceite posible a remover} = \frac{(50 \text{ mL})(23,699.76)}{2} = 592,493.88 \text{ mL}$$

Se utilizó la cantidad de cuadros de 7x7 centímetros cuadrados necesarias para remover 50 mL de aceite de motor usado para el adsorbente Ultra-X-Tex como punto de partida para determinar la cantidad de adsorbente necesario para remover 45 L de aceite de motor usado el cual se podría remover utilizando una trampa de grasas. Se realizó el mismo cálculo para el adsorbente de Polipropileno. Para el adsorbente SpillFix se determinó por medio de los gramos totales que el envase del producto tiene. Los resultados se encuentran en la Tabla No. 2 en la parte de anexos página (53).

Cálculo 20. Relación costo-volumen para remover 50 mL de aceite de motor usado

$$\begin{aligned} & \text{Relación costo – volumen} \\ & = \frac{(\text{Inversión inicial compra del adsorbente} + \text{Costo de mano de obra})}{\text{Volumen de aceite posible a remover}} \end{aligned}$$

$$\text{Relación costo – volumen} = \frac{(Q6.565.90 + Q92.88)}{592,493.88 \text{ mL}} = 1.37$$

Se determinó la relación costo-volumen para el adsorbente Ultra-X-Tex por lo que se dividió la inversión inicial que se tendría al adquirir el adsorbente más la mano de obra estimada necesaria para remover el aceite usado de motor, entre el volumen del aceite que se puede remover con el adsorbente el cual se determinó en el cálculo anterior. Se realizó el mismo cálculo para los otros dos adsorbentes analizados. Los resultados se encuentran en la Tabla No. 2 en la parte de anexos página (53).

Cálculo 21. Cálculo del tamaño de muestra (cantidad de cuadros de 7x7 cm para cada adsorbente)

$$\text{Tamaño de muestra} = 2SD^2 \left(Z^{\frac{\alpha}{2}} + \frac{Z^{\frac{\beta}{2}}}{d} \right)^2 \quad (\text{ec. 12})$$

$$\text{Tamaño de muestra} = 2(0.10)^2(1.96 + 0.84)^2/0.1^2 = 16$$

Se hizo el cálculo para determinar la cantidad de pedazos de los adsorbentes tipo manta para el estudio realizado. Se determinó que se necesitaba una muestra de 16 pedazos de adsorbentes de 7x7 cm para el estudio; para el adsorbente granular era necesaria una cantidad de 16 muestras del adsorbente también, usando un nivel de significancia del 95% para α y para β del 80%. La cantidad total de pedazos y gramos utilizados en este trabajo de graduación fueron 21 para las pruebas variando el tiempo de contacto y el volumen de la mezcla agua-aceite. Usando un SD (desviación estándar) y un d (mínima diferencia) de para una distribución de doble cola, la cual es la más precisa. Los valores utilizados de $Z^{\alpha/2}$, $Z^{\beta/2}$, SD y d, se utilizaron a conveniencia a partir de valores típicos utilizados en estudios para determinar tamaños de muestra a partir de los conceptos vistos en estadística. Se realizó el mismo cálculo para determinar la cantidad de corridas necesarias para el estudio de variación de tiempos de contacto de adsorción y los volúmenes de la mezcla inmiscible usando un valor usando un nivel de significancia del 70% para α ($Z^{\alpha/2} = 0.76$) y para β del 60% ($Z^{\beta/2} = 0.26$) lo cual dio un valor de 3 corridas necesarias para cada uno de los análisis variando tiempo y volumen, se utilizaron dichos valores debido a que son mayores al 50% lo cual se considera bastante optimista.

C. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Cálculo 22. Promedio de la densidad de aceite de motor.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{ec. 6})$$

$$\frac{0.8006 \frac{\text{g}}{\text{mL}} + 0.7939 \frac{\text{g}}{\text{mL}} + 0.8039 \frac{\text{g}}{\text{mL}}}{3} \approx 0.7995 \text{ g/mL}$$

Se hizo el mismo cálculo con los datos obtenidos de la viscosidad del aceite y con los datos para los resultados finales de la viscosidad del aceite de motor. Los resultados se encuentran en la Tabla 23 en la parte de anexos, página (61).

Cálculo 23. Porcentaje de error

$$\frac{|valor\ te\acute{o}rico - valor\ experimental|}{valor\ te\acute{o}rico} * 100 \quad (\text{ec. 5})$$

$$\frac{|13 - 12.9754 \pm 0.0001|}{13} * 100 = 0.19 \pm 0.0001\%$$

Se determinó el porcentaje de error de la capacidad de sorción del adsorbente ULTRA-X-TEX variando el tiempo de contacto, por lo que se comparó el valor experimental con el valor teórico el cual estaba indicado en la hoja de especificaciones del producto. Se realizó el mismo cálculo para los otros 3 tiempos y para el análisis variando el volumen de la mezcla; asimismo, se realizaron todos los cálculos anteriores con los otros dos adsorbentes. Los resultados se encuentran en las tablas 25 y 26 en la parte de anexos páginas (62).

B. ANÁLISIS DE ERROR

Cálculo 24. Ejemplo de cálculo de propagación de error de multiplicación y división.

$$s_y = \sqrt{\left(\frac{S_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{b}\right)^2} * y \quad (ec. 3)$$

$$s_y = \sqrt{\left(\frac{0.0001}{1.7904}\right)^2 + \left(\frac{0.0001}{25.0215}\right)^2} * 92.84 = \pm 0.01 g$$

Se hizo el mismo procedimiento para el cálculo de las incertidumbres de valores que se multiplican o dividen.

Cálculo 25. Determinación de la incertidumbre para valores que se suman o se restan.

$$s_y = \sqrt{(S_a)^2 + (S_b)^2} \quad (ec. 4)$$

$$s_y = \sqrt{(0.0001)^2 + (0.0001)^2} = 0.000141421 g$$

Se hizo el mismo procedimiento para el cálculo de las incertidumbres de valores que se sumaron o restaron.

C. FOTOGRAFÍAS DE MATERIALES

Ilustración 21. Adsorbente de Polipropileno utilizado

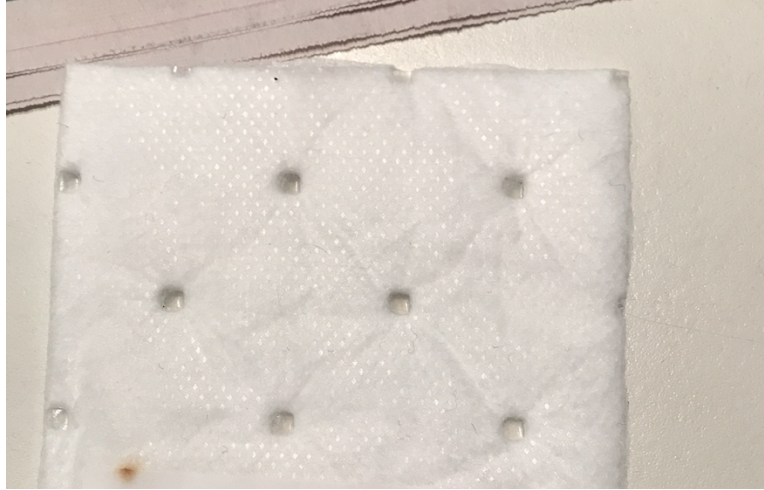


Ilustración 22. Adsorbente Ultra-X-Tex utilizado



Ilustración 23. Sistema utilizado para medir la viscosidad del aceite de motor



Ilustración 24. Ejemplo de mezcla inmiscible agua-aceite de motor



Ilustración 25. Platos para el Tamizador Shaker del Laboratorio de Operaciones Unitarias



Ilustración 26. Adsorbente granular luego de secado en estufa



Ilustración 27. Descarte de desechos para incineración



Ilustración 28. Incineración de adsorbentes



XIV. GLOSARIO

1. **Adsorbato:** Es el componente que se adsorbe en el proceso de adsorción (McCabe, 1998).
2. **Adsorbente:** Es la sustancia generalmente sólida que tiene una estructura porosa la cual tiene una alta capacidad de adsorción (RAE, 2021).
3. **Adsorción:** Es un proceso en el que ocurre la separación de componentes en una fase fluida, los cuales se transfieren hacia la superficie de un sólido adsorbente. Los componentes se transfieren al sólido hasta que este está prácticamente saturado y ya no es posible alcanzar la separación que se desea (McCabe, 1998).
4. **Adsorbente granular:** Son adsorbentes sueltos y multiusos que se utilizan para la limpieza de derrames líquidos (Melisa, 2021).
5. **Freundlich:** Erwin Freundlich fue un matemático, físico y astrónomo de la relatividad y el creador de la isoterma de adsorción la cual es una curva que relaciona la concentración del soluto en la superficie del adsorbente con la concentración del soluto en el líquido con el que se encuentra en contacto (Pérez, 2021).
6. **Granulometría:** Es la medición de partículas de una formación sedimentaria y el cálculo de estos para cada uno de los tamaños por una escala granulométrica. El método más sencillo es el de obtener una serie de mallas de diferentes anchos de entramado a forma que actúen como filtros de las partículas (Santiago, 2010).
7. **Hidrofóbico:** Es repelido por el agua; no polar y lipofílico (que es soluble en aceites y en disolventes no polares) (Wade, 2017).
8. **Monómero:** Es una molécula pequeña que se enlaza entre sí para formar un polímero (Wade, 2017).
9. **Oleofílico:** Se refiere a los materiales que absorben los aceites hidrocarburos (Trupp et al., 2019).
10. **Partícula:** Es la parte pequeña de la materia, no puede descomponerse en otras más simples (RAE, 2021).
11. **Remoción:** Es la acción o el efecto de remover (RAE, 2021).
12. **Polimerización:** Es el proceso de enlazamiento de moléculas de un monómero en un polímero (Wade, 2017).
13. **Polipropileno:** Es un polímero el cual se obtiene de la polimerización del monómero polipropileno. Este es un polímero termoplástico bastante versátil con diversas aplicaciones, lo cual es debido a que es un material que se puede moldear al aplicarle calor y de esta manera conseguir la forma que se desea (PlasticosAscaso, 2021).
14. **Porosidad:** Es la propiedad que tienen las partículas de los cuerpos, se define de esta manera a los intersticios o a los espacios vacíos los cuales se denominan poros. Esta propiedad la poseen todos los cuerpos, pero se reconoce más fácil en algunos como el corcho o la piedra pómez los cuales a simple vista se evidencia su porosidad (Rico y Santistéban, 1869).
15. **Regresión lineal:** Es el tipo más sencillo de análisis de regresión en el que interviene una variable independiente y una variable dependiente, donde la relación entre las variables se aproxima por medio de una línea recta (Anderson *et al.*, 2012).
16. **Sintético:** Los materiales sintéticos son los materiales que están compuestos por polímeros sintetizados o de pequeñas moléculas. La mayoría de las veces los compuestos que se usan para realizar estos materiales provienen de químicos que se derivan del petróleo o de petroquímicos (Robles, 2021).

17. **Sorción:** Se utiliza el concepto para referirse en investigaciones tanto a la palabra absorción o la adsorción (Bazargan *et al.*, 2015).
18. **Sorbente:** Es el material que se utiliza para recuperar líquidos a través de la adsorción o la absorción o también a través de ambas (Bazargan *et al.*, 2015).
19. **Tamiz:** Es un utensilio utilizado para separar las partes finas de las más gruesas, está formado por una tela metálica o una rejilla que esta tupida la cual se sostiene en un aro, el cual también se conoce como cedazo o criba (InstrumentosTécnicos, 2019).
20. **Tiempo de contacto:** Es el tiempo en el que el sorbente está en contacto directo con el aceite (Bazargan *et al.*, 2015).
21. **Termoplástico:** Es todo aquel polímero que se vuelve moldeable a una temperatura alta (Wade, 2017).