

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

**“INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y TIPO DE
SOLVENTE PARA LA RECUPERACIÓN DE
POLICARBONATO A PARTIR DE DISCOS INFORMÁTICOS
USADOS”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR

**QUISPE SALAZAR DARLIN HARVEY
ROJAS RIVERA JANCARLO ANTONI**

ASESOR

ING° CARLOS ERNESTO ANGELES QUEIROLO

Línea de investigación: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Callao, 2024

PERÚ

Document Information

Analyzed document	TESIS - QUISPE SALAZAR - ROJAS RIVERA.pdf (D163785236)
Submitted	4/12/2023 11:22:00 PM
Submitted by	
Submitter email	fiq.investigacion@unac.edu.pe
Similarity	26%
Analysis address	fiq.investigacion.unac@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad Nacional del Callao / PROYECTO DE TESIS - RECUPERACIÓN DE POLICARBONATO.docx Document PROYECTO DE TESIS - RECUPERACIÓN DE POLICARBONATO.docx (D52678955) Submitted by: izizloul@gmail.com Receiver: maria.toledo.palomino.unac@analysis.orkund.com	 36
W	URL: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332010000100017&lng=es&nrm=iso Fetched: 4/12/2023 11:22:00 PM	 4
W	URL: https://docplayer.es/8353824-Recuperacion-de-policarbonato-post-consumo-a-partir-de-discos-com... Fetched: 4/12/2023 11:22:00 PM	 2
SA	t1935mquim.pdf Document t1935mquim.pdf (D142405482)	 1

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUÍMICA "INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y TIPO DE SOLVENTE PARA LA RECUPERACIÓN DE POLICARBONATO A PARTIR DE DISCOS INFORMÁTICOS USADOS" TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

Autores: Bach. Darlin Harvey Quispe Salazar Bach. Jancarlo Antoni Rojas Rivera Asesor: Ing. Carlos Ernesto Angeles Queirolo Línea de investigación: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA Callao, 2023 PERÚ

INFORMACIÓN BÁSICA FACULTAD : INGENIERÍA QUÍMICA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN: UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE

INGENIERÍA QUÍMICA TÍTULO : "INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y TIPO DE SOLVENTE PARA LA ECUPERACIÓN DE POLICARBONATO A PARTIR DE DISCOS INFORMÁTICOS USADOS" AUTORES : Bach. DARLIN HARVEY QUISPE SALAZAR

CÓDIGO ORCID: 0009-0009-5658-650X DNI: 70945328 Bach. JANCARLO ANTONI ROJAS RIVERA CÓDIGO ORCID: 0009-0003-4104-6283 DNI: 70837912 ASESOR: Ing. CARLOS ERNESTO ANGELES QUEIROLO CÓDIGO ORCID: 0000-0002-2021-188X DNI: 25660296 LUGAR DE EJECUCIÓN : LABORATORIO DE OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO UNIDAD DE ANÁLISIS : DISCOS INFORMÁTICOS USADOS TIPO DE INVESTIGACIÓN : CUANTITATIVA/APLICADA DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: LABORATORIO/EXPERIMENTAL/TRANSV. TEMA OCDE : INGENIERÍA DE PROCESOS

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue sustentada por los Bachilleres **ROJAS RIVERA JANCARLO ANTONI** y **QUISPE SALAZAR DARLIN HARVEY** ante el Jurado de Sustentación de Tesis conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

ING° DIAZ BRAVO PABLO BELIZARIO	Presidente
ING° DÍAZ GUTIERREZ ALBERTINA	Secretaria
ING° CALIXTO IPANAQUE MAZA	Vocal
ING° CARLOS ERNESTO ANGELES QUEIROLO	Asesor

Tal como está asentado en el Libro de actas N° 02 Folio N° 155 y Acta N° 336 de fecha 26 de abril del 2024, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Tesis sin Ciclo de Tesis, de conformidad a lo dispuesto en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Callao, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 150–2023–CU del 15 de junio de 2023

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD : INGENIERÍA QUÍMICA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN: UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

TÍTULO : “INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y TIPO DE SOLVENTE PARA LA RECUPERACIÓN DE POLICARBONATO A PARTIR DE DISCOS INFORMÁTICOS USADOS”

AUTORES :
Bach. DARLIN HARVEY QUISPE SALAZAR
CÓDIGO ORCID: 0009-0009-5658-650X
DNI: 70945328
Bach. JANCARLO ANTONI ROJAS RIVERA
CÓDIGO ORCID: 0009-0003-4104-6283
DNI: 70837912

ASESOR: Ing. CARLOS ERNESTO ANGELES QUEIROLO
CÓDIGO ORCID: 0000-0002-2021-188X
DNI: 25660296

LUGAR DE EJECUCIÓN : LABORATORIO DE OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

UNIDAD DE ANÁLISIS : POLICARBONATO EN DISCOS INFORMÁTICOS USADOS.

TIPO DE INVESTIGACIÓN : CUANTITATIVO

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: EXPERIMENTAL

TEMA OCDE : INGENIERÍA DE PROCESOS

DEDICATORIA

A nuestros padres por ser el ejemplo de perseverancia y esfuerzo para lograr nuestras metas y a nuestro asesor Carlos Ángeles Queirolo por la paciencia y dedicación para la realización de esta investigación,

Darlin Harvey Quispe Salazar
Jancarlo Antoni Rojas Rivera

AGRADECIMIENTO

A nuestros padres por todo el esfuerzo y apoyo a lo largo de nuestra carrera y vida profesional.

A nuestros maestros de la facultad, asesores y jurado por su dedicación, apoyo y soporte en todo el camino hasta alcanzar el objetivo.

ÍNDICE

INDICE DE TABLAS	4
INDICE DE FIGURAS	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
RESUMO	8
INTRODUCCIÓN	9
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1 Descripción de la realidad problemática	10
1.2 Formulación del problema	11
1.2.1 Problema general	11
1.2.2 Problemas específicos	11
1.3 Objetivos	11
1.3.1 Objetivo general	11
1.3.2 Objetivos específicos	11
1.4 Justificación	11
1.4.1 Teórica	11
1.4.2 Social	12
1.4.3 Ambiental	12
1.4.4 Tecnológica	12
1.4.5 Económica	12
1.5 Delimitantes de la investigación	12
1.5.1 Teórica	12
1.5.2 Temporal	13
1.5.3 Espacial	13
II MARCO TEÓRICO	14
2.1 Antecedentes	14
2.1.1 Antecedentes internacionales	14
2.1.2 Antecedentes nacionales	15

2.2	Bases teóricas	17
2.2.1	Policarbonato	17
2.2.2	Características del policarbonato	21
2.2.3	Solubilidad de policarbonato	23
2.2.4	Tamaño de partícula	25
2.2.5	Métodos de caracterización de policarbonato	26
2.3	Marco conceptual	29
2.3.1	Recuperación de policarbonato en discos informáticos	29
2.3.2	Composición de los discos informáticos	30
2.3.3	Reducción de tamaño de discos informáticos	31
2.3.4	Recuperación de polímeros mediante disolución	31
2.4	Definición de términos básicos	34
III	HIPÓTESIS Y VARIABLES	36
3.1	Hipótesis (general y específicas)	36
3.1.1	Operacionalización de variables	36
IV	DISEÑO METODOLÓGICO	38
4.1	Tipo y diseño de investigación	38
4.2	Método de investigación	39
4.2.1	Acondicionamiento de la materia prima	39
4.2.2	Selección de solventes	40
4.2.3	Tratamiento del material triturado	40
4.2.4	Caracterización del policarbonato	41
4.2.5	Recuperación de solventes	41
4.3	Población y muestra	41
4.4	Lugar de estudio y periodo desarrollado	41
4.5	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	42
4.6	Análisis y procesamiento de datos	45
4.7	Aspectos éticos en investigación	46
V	RESULTADOS	47

5.1	Resultados descriptivos	47
5.2	Resultados inferenciales	52
VI	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	55
6.1	Contrastación y demostración de hipótesis	55
6.1.1	Prueba de solubilidad	55
6.1.2	Recuperación de policarbonato	55
6.1.3	Caracterización del policarbonato	62
6.2	Contrastación de los resultados con otros estudios	62
6.3	Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos	64
VII	CONCLUSIONES	65
VIII	RECOMENDACIONES	66
IX	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
	ANEXOS	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades del policarbonato.....	21
Tabla 2 Solubilidad de polímeros	23
Tabla 3 Solubilidad de policarbonato en diferentes solventes.....	23
Tabla 4 Bandas grupos funcionales PC	26
Tabla 5 Operacionalización de variables	36
Tabla 6 Niveles de Variables	37
Tabla 7 Plan de experimentos.....	38
Tabla 8 Pruebas de solubilidad de solventes	46
Tabla 9 Recuperación de PC - Promedio de corridas experimentales.....	47
Tabla 10 Comparativa grupos funcionales en espectrogramas	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura base para la síntesis del policarbonato	17
Figura 2 Etapa de formación de la sal sódica de bisfenol A.....	17
Figura 3 Etapa de reacción entre sal de bisfenol A y el fosgeno	18
Figura 4 Formación de la molécula de cloroformato	19
Figura 5 Etapa de reacción entre cloroformato y bisfenol A	19
Figura 6 Formación del carbonato	20
Figura 7 Obtención del policarbonato.....	20
Figura 8 Termograma característico de las diferentes transiciones.....	27
Figura 9 Curva calorimétrica de un termoplástico semi-cristalino	28
Figura 10 Discos compactos cortados y tamizados	41
Figura 11 Dilución de discos compactos en solventes.....	42
Figura 12 Destilación de solventes	43
Figura 13 Espectrograma ATR – 2°corrida-cloroformo-5mm	48
Figura 14 Espectrograma ATR – 2°corrida-cloroformo-10mm	48
Figura 15 Espectrograma ATR - 2°corrida-cloroformo-20mm	49
Figura 16 Espectrograma ATR - 2°corrida-diclorometano-5mm	49
Figura 17 Espectrograma ATR - 2°corrida-diclorometano-10mm	50
Figura 18 Espectrograma ATR - 2°corrida-diclorometano-20mm	50
Figura 19 Análisis de varianza con respecto al tamaño de partícula.....	51
Figura 20 Análisis de varianza con respecto al tipo de solvente	52
Figura 21 Análisis de varianza global.....	53
Figura 22 Recuperación en función del tamaño de partícula	55
Figura 23 Recuperación en función del tamaño de partícula.....	56
Figura 24 Recuperación en función del tamaño de partícula	56
Figura 25 Recuperación en función del tipo de solvente, tamaño 5mm	57
Figura 26 Recuperación en función del tipo de solvente, tamaño 10mm ..	58
Figura 27 Recuperación en función del tipo de solvente, tamaño 20mm ..	58
Figura 28 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados	59

RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo el análisis de la influencia del tipo de solvente y el tamaño de partícula para la recuperación de policarbonato presente en los discos informáticos usados. Para determinar el grado de influencia se realizaron pruebas con diferentes solventes orgánicos y tamaños de partícula, realizando en primera instancia un pretratamiento de los discos retirando la capa metálica adherida a ellos para luego realizar una reducción de tamaño de los discos y disolverlos en los solventes seleccionados, posteriormente se realizó una filtración de la disolución resultante, para después, mediante una destilación simple separar al policarbonato del solvente orgánico volátil. El porcentaje de recuperación se obtuvo al realizar el pesado del policarbonato final y comparándolo con el peso inicial de la muestra, posteriormente se usó el método espectrofotométrico ATR para caracterizar el producto final. Se determinó que la mejor combinación solvente/tamaño de partícula para la recuperación del policarbonato fue $\frac{\text{diclorometano}}{5\text{ mm}}$, dando un porcentaje de recuperación de hasta 84% en peso. De esto se concluyó que la estructura química del solvente y tamaño de partícula influyen positivamente en la recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados.

Palabras clave: Discos de policarbonato, recuperación de policarbonato, solvente, tamaño de partícula.

ABSTRACT

The objective of this thesis was to analyze the influence of the type of solvent and particle size for the recovery of polycarbonate present in used computer disks. To determine the degree of influence, tests were carried out with different organic solvents and particle sizes, first pre-treating the discs by removing the metal layer adhered to them and then reducing the size of the discs and dissolving them in the selected solvents. Afterwards, a filtration of the resulting solution was carried out, and then, through a simple distillation, the polycarbonate was separated from the volatile organic solvent. The recovery percentage was obtained by weighing the final polycarbonate and comparing it with the initial weight of the sample. The ATR spectrophotometric method was subsequently used to characterize the final product. It was determined that the best solvent/particle size combination for the recovery of polycarbonate was $\frac{\text{dichloromethane}}{5\text{ mm}}$, giving a recovery percentage of up to 84% by weight. From this it was concluded that the chemical structure of the solvent and particle size positively influence the recovery of polycarbonate from used computer disks.

Keywords: Polycarbonate discs, polycarbonate recovery, solvent, particle size.

RESUMO

O objetivo desta tese foi analisar a influência do tipo de solvente e do tamanho de partículas na recuperação do policarbonato presente em discos de computador utilizados. Para determinar o grau de influência, foram realizados ensaios com diferentes solventes orgânicos e granulometrias, realizando-se primeiramente um pré-tratamento dos discos através da remoção da camada metálica aderida aos mesmos e depois reduzindo o tamanho dos discos e dissolvendo-os nos solventes selecionados, em seguida foi realizada uma filtração da solução resultante, e então, por meio de uma destilação simples, separar o policarbonato do solvente orgânico volátil. A porcentagem de recuperação foi obtida pesando-se o policarbonato final e comparando-o com o peso inicial da amostra, em seguida, utilizou-se o método espectrofotométrico ATR para caracterizar o produto final. Determinou-se que a melhor combinação solvente/partícula para recuperação de policarbonato foi $\frac{\text{diclorometano}}{5\text{ mm}}$, resultando em uma porcentagem de recuperação de até 84% em peso. A partir disso, concluiu-se que a estrutura química do solvente e o tamanho das partículas influenciam positivamente na recuperação do policarbonato dos discos de computador usados.

Palavras-chave: Discos de policarbonato, recuperação de policarbonato, solvente, granulometria.

INTRODUCCIÓN

El policarbonato producido por diversos fabricantes de materias primas constituye el primer representante utilizable, desde el punto de vista práctico, de la gran familia de los ésteres altamente polimerizables del ácido carbónico. Este polímero empleado en la fabricación de discos informáticos es un substrato con propiedades muy especiales porque permite el almacenamiento seguro de datos con estructura de sonidos complejos, textos e imágenes. Además, su transparencia, estabilidad dimensional, y resistencia a la fractura hacen de éste un plástico muy particular [1]

Los discos informáticos se reciclan por procesos físicos, donde el material es sometido a recolección, lavado, molienda, fundición y finalmente moldeo para su nuevo uso. A medida que se repite el proceso, el material pierde calidad. Otra alternativa menos utilizada por su elevado costo es el reciclado químico que busca obtener los reactivos de partida para la síntesis del polímero [1]

En este trabajo se planteó analizar la influencia que tienen el tipo de solvente y tamaño de partícula al momento de recuperar el policarbonato, mediante un proceso de pretratamiento, reducción de tamaño, disolución en solvente, filtración y posterior separación policarbonato/solvente mediante destilación. Así, finalmente obtener policarbonato como materia prima y realizar una evaluación del porcentaje en peso recuperado en función del peso inicial procesado.

I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Los polímeros son materiales de uso masivo en la sociedad, desde envases para alimentos, herramientas, prendas de vestir, pinturas, etc. Esto debido a que poseen propiedades (resistencia química, aislante, propiedades mecánicas, peso ligero, etc.) muy ventajosas para el costo de producción. Uno de los polímeros con excelentes propiedades informáticas es el policarbonato, el cual es utilizado en la fabricación de discos informáticos. Una de sus principales desventajas es su baja biodegradabilidad, circunstancia que motiva su acumulación en los rellenos sanitarios. Actualmente en el país no existe ninguna empresa dedicada a reciclar, reutilizar ni recuperar el policarbonato y los metales presentes en los discos informáticos [2]

El policarbonato como termoplástico desde su descubrimiento en 1964 ha existido infinidad de artículos moldeados para los cuales el policarbonato es la materia prima, por ejemplo, en el sector de la electrotecnia y electrónica; esto debido a sus propiedades aislantes y estabilidad hasta 120°C, resistencia a muchos ácidos orgánicos de altas concentraciones, elasticidad tenaz y escasa deformación elástica [3]

A pesar de sus excelentes propiedades no es un material comúnmente reciclado y por lo general va a rellenos sanitarios donde su incineración produce dioxinas y furanos, sin contar con la contaminación de metales pesados en el agua y suelo. Por esos motivos se planteó un sistema de recuperación fisicoquímica en el cual se analizará la influencia del tamaño de partícula y el tipo de solvente en el proceso de recuperación de este polímero.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es la influencia del tamaño de partícula y tipo de solvente para la recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados?

1.2.2 Problemas específicos

1) ¿Cuál es el tamaño de partícula adecuado para la recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados?

2) ¿Cuáles es el tipo de solvente adecuado para la recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar la influencia del tamaño de partícula y tipo de solvente para la recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados.

1.3.2 Objetivos específicos

Determinar el tamaño de partícula adecuado para la recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados

Determinar el tipo de solvente adecuado para la recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados

1.4 Justificación

1.4.1 Teórica

Existen pocos estudios relacionados a la recuperación del policarbonato a partir de discos informáticos usados, de ellos ninguno se ha realizado en nuestro país. La presente investigación contribuye al desarrollo y ampliación de conocimientos relacionados a la recuperación y reutilización de polímeros.

1.4.2 Social

Ante la necesidad que presenta la sociedad de reutilizar aquellos polímeros que no son degradables, es de suma importancia el estudio de métodos de recuperación de polímeros para su posterior reutilización.

1.4.3 Ambiental

Se planteó una solución a la acumulación de estos polímeros en los rellenos sanitarios y la contaminación que genera su incineración.

1.4.4 Tecnológica

Los resultados de la presente investigación generaron nuevos métodos de recuperación de policarbonato y de otros polímeros, las cuales podrán ser aplicadas al sector industrial de diversos polímeros

1.4.5 Económica

La recuperación de policarbonato por el método planteado es más económica que otros tratamientos químicos debido a que el solvente se recupera aproximadamente en un 71% dentro del proceso, además se plantea un

pretratamiento que evita el gasto de solvente en la dispersión al reemplazar esta etapa.

Es una alternativa viablemente económica, porque permite obtener policarbonato (materia prima para fabricación de lentes de seguridad, calaminas, etc.) a partir de una materia prima reciclada (discos compactos usados).

1.5 Delimitantes de la investigación

1.5.1 Teórica

El presente trabajo de investigación está enmarcado en las pruebas de recuperación del policarbonato con diferentes tipos de solvente y diversos tamaños de partícula con el fin de determinar la influencia de estos parámetros y con ello ayudar a mitigar la contaminación del medio ambiente por acumulación de estos materiales y darle un valor agregado.

1.5.2 Temporal

El desarrollo del trabajo fue realizado en el periodo 2021–2022, en donde los discos informáticos eran usados como dispositivos de almacenamiento de información, hoy en día, debido al avance tecnológico su uso ha ido disminuyendo considerablemente.

El estudio se ha realizado en los meses de enero a mayo del 2022, desde la etapa de reducción de tamaño de los discos informáticos hasta el pesado del producto final para el cálculo de porcentaje de recuperación del policarbonato, el trabajo en los laboratorios y la elaboración del informe final.

1.5.3 Espacial

Las pruebas experimentales se desarrollaron en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao y las pruebas de caracterización de policarbonato por espectroscopía ATR se realizaron en el Laboratorio de Investigación de Nanotecnología y Biopolímeros de la Universidad Nacional José María Arguedas.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.2.1 Antecedentes internacionales

En la tesis titulada “Recuperación de policarbonato post consumo a partir de discos compactos e incorporación a una formulación de resinas fenol formaldehído” [1] analizaron el desarrollo de una alternativa de reciclaje de los discos compactos (CD 's) desechados, recuperando su componente principal, el policarbonato (PC), para emplearlo como materia prima en la fabricación de nuevos productos moldeados, e incorporarlo a materiales como los resoles, con el fin de mejorar sus propiedades. Se utilizaron procedimientos físicos y químicos como reducción del tamaño de partícula, dispersión en el solvente, extracción del polímero e incorporación de la dispersión a un resol. El policarbonato posconsumo obtenido presentó buenas características físicas y químicas, así como con una buena resistencia al ataque por ácidos débiles y solventes, y una absorción de agua mínima, razón por la cual puede ser utilizado como materia prima en la fabricación de diferentes productos en los que se requiera un material con excelentes propiedades. El porcentaje de recuperación del policarbonato contenido en los discos compactos fue del 89%, con una relación solvente-discos compactos de 1:2 y además con una recuperación de los solventes 73,33% y 70,78% para etanol y fenol respectivamente.

En el trabajo de investigación “Reciclaje de materiales: Estudio de las propiedades mecánicas de policarbonato reciclado de discos compactos” [4] se tuvo como objetivo estudiar las propiedades mecánicas del policarbonato reciclado de CD y DVD a través del método de abrasión mecánica, visando hacer viable el uso cotidiano de este material, siendo capaz de sustituir polímeros de uso común, como el poliestireno (PS), o ser utilizado junto con el PC virgen en determinadas aplicaciones. En las proporciones de $\frac{100}{0}$, $\frac{70}{30}$, $\frac{50}{50}$, $\frac{30}{70}$, $\frac{0}{100}$, en % m/m se obtuvieron mediante el moldeo de las mezclas de $\frac{PC-Virgen}{PC-Reciclado}$ por inyección para la realización de ensayos de resistencia a la tracción y al impacto Izod además de dureza Shore. Se observó que en hasta un 70% de PC reciclado agregado a las mezclas, hubo disminución de la resistencia al impacto y de la

deformación mientras que la resistencia a la tracción y la dureza superficial se mantuvieron con relación al PC virgen. Se verificó también que el PC reciclado logró alcanzar el 79,2% de la tensión máxima de tracción y el 60,8% de la resistencia al impacto del PC virgen. Cuando se compara al PS, el PC reciclado presentó buen desempeño mecánico, siendo ambos similares en cuanto a la resistencia a la tracción.

En el trabajo de investigación “Degradación hidrolítica y biodegradación de mezclas binarias de ácido poliláctico (pla) con residuos plásticos” [5] en el cual evaluaron el proceso de degradación hidrolítica y de biodegradación, de mezclas binarias de Ácido Poliláctico (PLA) con residuos plásticos. Para esto, se preparó diferentes mezclas de PLA con Tereftalato de Polietileno (PET), y de PLA con Polipropileno (PP), con proporciones de PLA de 5%, 10%, 15% y 20% en masa, para seleccionar mediante el índice de fluidez las mezclas a emplear en los procesos de degradación señalados. El seguimiento de los procesos se realizó mediante la observación macroscópica, porcentaje de pérdida de masa, variación del pH de la solución amortiguadora y espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). El aumento del porcentaje de PLA hace susceptibles la degradación del material. La pérdida de masa ocasionada en la degradación hidrolítica del PLA fue de 21,20% y de 3,68% en la biodegradación. En tanto, que el PP y PET se degradan en una menor proporción que el PLA. En la degradación hidrolítica la mezcla del $\frac{PP}{20\% PLA}$ perdió el 11,07% de masa y la mezcla de $\frac{PET}{20\% PLA}$ 6,05%. La espectroscopia infrarroja permite corroborar los cambios estructurales que sufren los materiales durante el proceso de degradación.

2.2.2 Antecedentes nacionales

En la investigación “Recuperación de bisfenol–A a partir de policarbonato” [6], se estudió la despolimerización de policarbonato de bisfenol–A con calentamiento convencional por metanólisis usando tolueno como cosolvente en un medio básico, en presencia de un agente reductor y bajo atmósfera de nitrógeno. Se evaluaron los efectos del tiempo de reacción, temperatura, uso del agente reductor y atmósfera de nitrógeno, el proceso de recuperación del monómero, la

proporción de solventes frente al policarbonato, el uso de dos fuentes de policarbonato (bidones y discos compactos) y el cambio de cosolventes (acetona y acetonitrilo). Se alcanzó un rendimiento de recuperación del monómero bisfenol-A de hasta 90% luego de 3 horas de reacción usando tolueno como cosolvente.

En la investigación “Aplicación de métodos de caracterización de residuos poliméricos re aprovechables del distrito de la joya” [7], realizaron la ejecución del estudio de caracterización de residuos sólidos en el distrito de la Joya, con la cual se pudo conocer la composición exacta de los residuos urbanos y no urbanos que se producen en el lugar, sin duda alguna los polímeros comúnmente conocidos como plásticos representan un alto porcentaje de generación y son re aprovechables. Para su identificación se aplicaron los métodos de caracterización de polímeros como son la separación por medios densos, separación por capacidad de solubilidad en contacto con solventes, reacción a la llama y por último la aplicación del método de calorimetría diferencial de barrido (DSC), la aplicación de uno o los cuatro métodos se dio según la capacidad de reacción de los residuos poliméricos. De esta investigación se logró determinar el porcentaje de cada uno de los polímeros reciclables (PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS, otros.) que se generan diariamente y que podrían ser reaprovechados. Se pudo estimar que en el distrito de la Joya se genera diariamente $1\,975 \frac{Kg}{día}$, de polímeros re aprovechables, dentro de los cuales se producen 1 085 Kg de PET, 197 Kg de HDPE, 39 Kg de PVC, 355 Kg de LDPE, 138 Kg de PP, 118 de PS y 57 Kg de otros.

En la investigación “Reciclaje químico de desechos plásticos” [8] estudiaron la despolimerización de tres plásticos comúnmente presentes en desechos domésticos: el poli (tereftalato de etileno), el policarbonato y la poliamida Nylon-6. Para cada tipo de polímero se estudió las condiciones para su despolimerización y se cuantificó e identificó el monómero formado utilizando técnicas espectroscópicas. En el caso del PET, se obtuvo el tereftalato de bis (2-hidroxietileno), utilizando el calentamiento convencional o microondas. Del policarbonato se obtuvo el bisfenol-A con un rendimiento del 90% y la ε-caprolactama se obtuvo del nylon-6 con un 80% de rendimiento.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Policarbonato

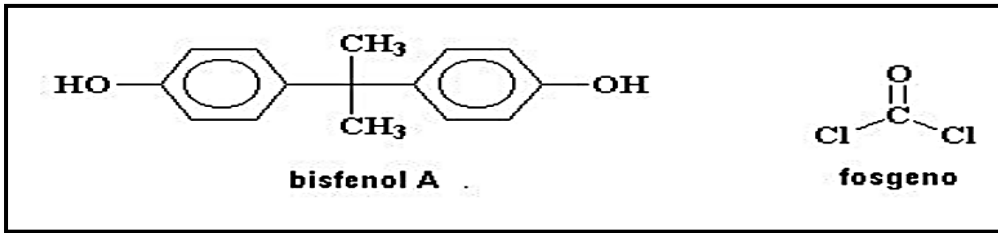
Este polímero es un termoplástico cristalino de propiedades mecánicas muy buenas. Tiene una resistencia al impacto extraordinariamente alta incluso a bajas temperaturas, atribuida en parte a la combinación de un orden relativamente alto en las regiones amorfas y considerable desorden en las regiones cristalinas. Tiene baja absorción de humedad, buena resistencia al calor (utilizable hasta 120°C) y buena estabilidad térmica y oxidativa en el fundido. Es transparente y se autoextingue. Puede fabricarse por moldeo por inyección o extrusión convencionales [9]

La alta resistencia al impacto y transparencia del policarbonato lo han llevado muchas aplicaciones de ingeniería, pero se han destacado especialmente en tres usos principales: láminas coextruidas, lámparas automotrices, y en la fabricación de discos informáticos, esta última aplicación se extendió a los discos DVD, con nuevos policarbonatos de alta pureza fabricados, por ejemplo, por Bayer en asociación con Teijin de Japón. En el campo médico, nuevos grados de policarbonato ofrecen la resistencia química necesaria para administrar medicinas intravenosas con base en emulsiones lipídicas. También existen grados resistentes a la esterilización con óxido de etileno o con rayos gama. Una tendencia importante es hacia la fabricación de lentes ópticos y protectores de los ojos. En el año 2021 más de 15% de los lentes de contacto correctivos de la visión que se producen en Estados Unidos se fabrican con grados especiales de policarbonato. Los nuevos grados de policarbonato de alta fluidez se emplean también en electrodomésticos y equipos de oficina, con sistemas de moldeo por inyección de pared delgada [10].

Síntesis del policarbonato

El policarbonato toma su nombre de los grupos carbonato en su cadena principal, se le ha llamado policarbonato de bisfenol A, porque se elabora a partir de bisfenol A y fosgeno, en la **Figura 1 (Ver pag N° 17)** se muestra la estructura química del bisfenol A y del fosgeno [11]

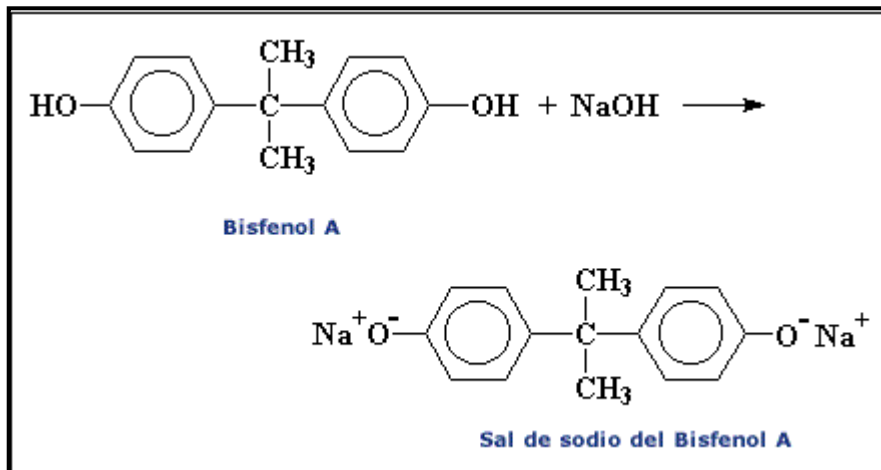
Figura 1
Estructura base para la síntesis del policarbonato



Katime (2010)

El primer paso para obtener un policarbonato es tratar el bisfenol A con hidróxido de sodio (NaOH). El grupo hidróxido va a cumplir la función que cumplen los álcalis, tomando un protón del bisfenol A. Cuando esto sucede, el grupo hidroxilo se transforma en una molécula de agua y el bisfenol A, que es un alcohol, se encontrará en su forma de sal sódica. (Ver Figura 2)

Figura 2
Etapa de formación de la sal sódica de bisfenol A

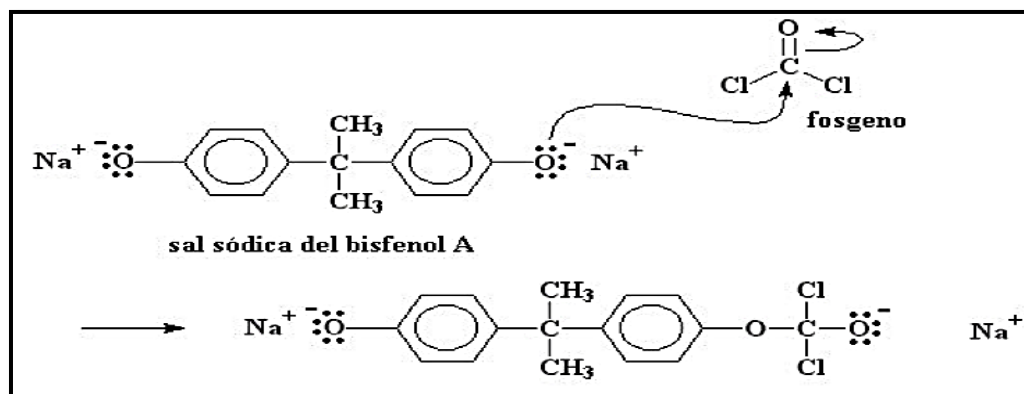


Katime (2010)

Esto quiere decir que puede donar un par de electrones al átomo de carbono del fosgeno. Se debe tener en cuenta que ese carbono se encuentra deficiente de electrones, porque es vecino del oxígeno electronegativo. Luego, sobre el grupo alcohol del bisfenol A, ocurre la misma reacción otra vez, dando como resultado sal sódica de bisfenol A. Ahora que el bisfenol A es una sal, puede actuar sobre el fosgeno, se puede apreciar que el oxígeno de la sal de bisfenol A tiene ahora una carga negativa.

Cuando ese átomo de carbono gana un nuevo par electrónico proveniente de la sal de bisfenol A, deja escapar uno de los pares que estaba compartiendo en forma no equitativa con el oxígeno del carbonilo. Este par quedará sobre ese oxígeno, dándole una carga negativa. **(Ver Figura 3)**

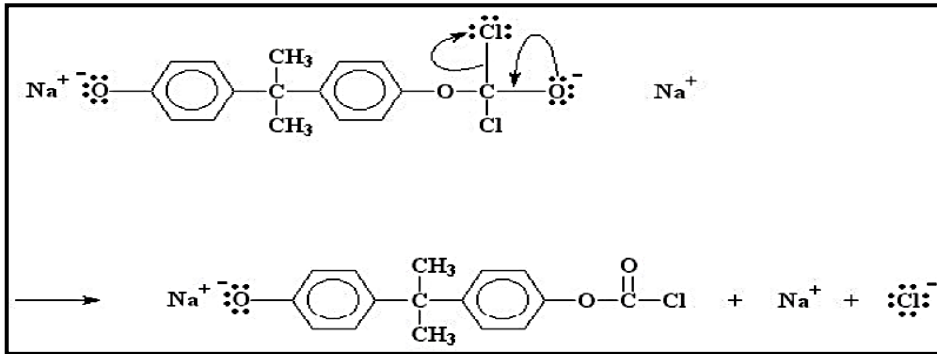
Figura 3
Etapa de reacción entre sal sódica de bisfenol A y el fosgeno



Katime (2010)

En seguida los electrones de ese oxígeno volverán hacia el carbono, restituyendo el doble enlace carbono-oxígeno. De hecho, se sabe que el carbono no puede compartir diez electrones, de modo que tiene que deshacerse de dos. Y los dos electrones que se van a compartir, son el par que el carbono había estado compartiendo con uno de los átomos de cloro. Así, el cloro y sus electrones serán expulsados de la molécula. La molécula que se forma ahora se llama cloroformato. El ion cloruro que fue expulsado, se unirá con ese ion sodio que había estado rondando silenciosamente durante toda la conmovición, para formar cloruro de sodio. **(Ver Figura 4, pag N° 19)**

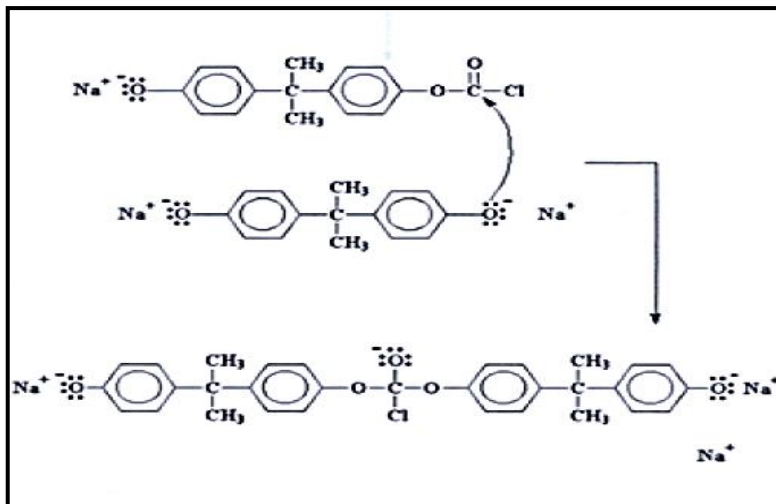
Figura 4
Formación de la molécula de clorofornato y del cloruro de sodio



Katime (2010)

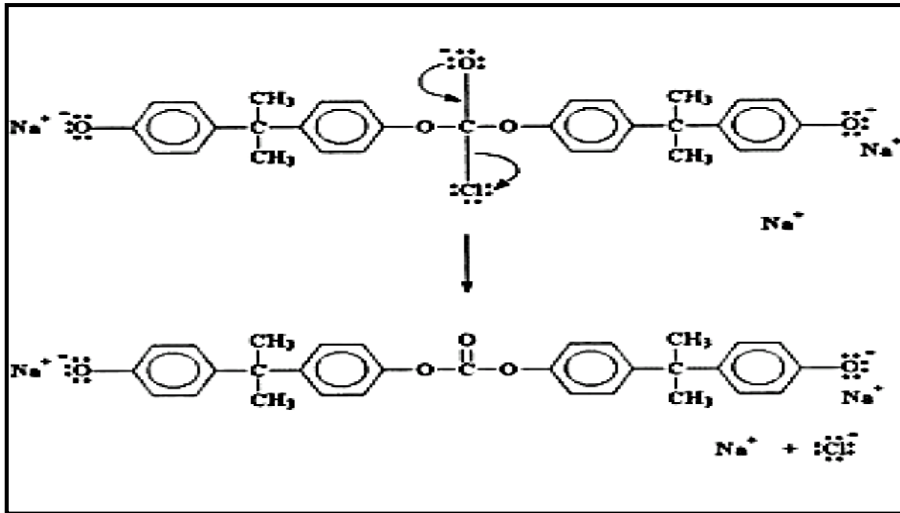
El clorofornato puede ser atacado por otra molécula de bisfenol A, tal como lo hizo el fosgeno. Y una segunda molécula de bisfenol A puede atacar tal como lo hizo la primera, **(Ver Figura 5)**. Y lo hace a través de un intermediario, para obtener el carbonato constituido por las especies mostradas **(Ver Figura 6, pag N° 20)**

Figura 5
Etapa de reacción entre clorofornato y una molécula de bisfenol A



Katime (2010).

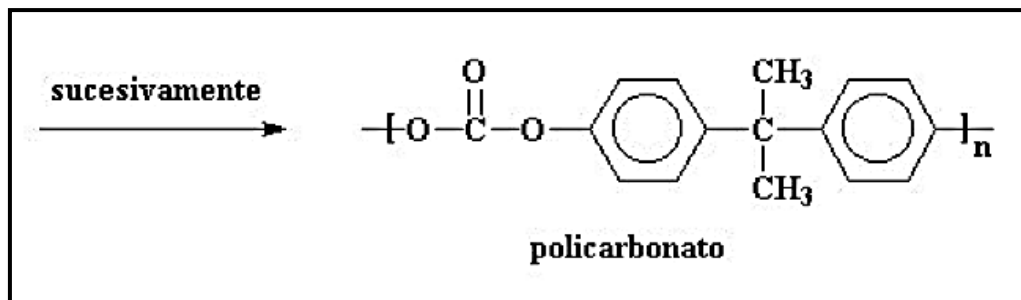
Figura 6
Formación del carbonato



Katime (2010)

Después de esto, los grupos salinos de la gran molécula pueden reaccionar con más fosgeno y de ese modo, la molécula crece hasta que se obtiene el policarbonato (**Ver Figura 7**)

Figura 7
Obtención del policarbonato



Katime (2010)

2.2.2. Características del policarbonato

Este material tiene resistencia a la tensión (a temperatura ambiente) relativamente altas, sobre los 62 MPa, altas resistencias al impacto, de 680 a 854 $\frac{J}{m}$ tienen altas temperaturas de deflexión térmica, buenas propiedades como aislantes eléctricos, buena resistencia a la termofluencia y son transparentes. Los policarbonatos son resistentes a una variedad de productos químicos, pero

son atacados por bastantes disolventes. Su alta estabilidad dimensional permite su utilización en componentes de precisión en ingeniería que requieren tolerancias estrictas. También son usados para fabricar envases para el almacenamiento de agua [10]

Generalmente el policarbonato no es sensible a ácidos orgánicos e inorgánicos en condiciones normales de temperatura y concentración, sin embargo, su resistencia a los demás compuestos orgánicos es baja. Esta baja resistencia se ve aún más afectada con la aparición de microfisuramiento sobre tensión, que provoca porosidad en la superficie del material, facilitando el ataque químico. En la **Tabla 1** se presentan las propiedades características del policarbonato.

Tabla 1
Propiedades del policarbonato

PROPIEDAD	UNIDAD	CONDICIÓN	VALOR
Peso molecular	g.mol ⁻¹	—	254
Coeficiente de expansión térmica	K ⁻¹	Mesurado a los 40°C	2,6 x 10 ⁴
Densidad	g.cm ³	ASTM D792	1,2
Capacidad calorífica	kJ.K ⁻¹ .mol ⁻¹	—	0,32
Temperatura de deflexión térmica	K	A los 1,82 MPa	405
Módulo de tracción	MPa	ASTM: D638, D759, D1708	2 380
Resistencia a la tracción	MPa	En rendimiento	62,1
		En última instancia	65,5
Fuerza de impacto	J.m ⁻¹	Izod, muesca	850
Peso molecular entrelazado	g.mol ⁻¹	—	4 800
Índice de refracción	-	Mesurado a temperatura ambiente	1,586
		20°C	42,9
Tensión superficial	nN.m ⁻¹	150°C	35,1
		200°C	32,1
Conductividad térmica	W.m ⁻¹ .K ⁻¹	—	0,192
Viscosidad de fusión	Pa.s	A los 270°C	1 100

Madkour (1999)

El policarbonato se puede conseguir generalmente en dos presentaciones:

Policarbonato en planchas

Compacto (Lexan, Makrolon, Apec).- El policarbonato compacto en placas se utiliza en construcciones en los casos en que se desee obtener transparencia de superficies, tanto horizontales como verticales o curvas.

Dado que no tiene tanta rigidez como el vidrio, su modo más eficiente de utilización es en superficies curvas, donde la forma es fácilmente obtenible dada su elasticidad.

El policarbonato compacto se obtiene en color gris (llamado también nube o fumée), en color castaño (llamado oro o bronce) y transparente [13]

Celular o alveolar: En los casos en que no sea imprescindible una superficie transparente sino traslúcida, el policarbonato alveolar resulta más económico que el compacto, tanto por su precio por unidad de superficie como por la ventaja de abonarse generalmente por la superficie neta adquirida, sin los recortes sobrantes, en razón de la mayor demanda que tiene [13]

Policarbonato en películas o films: El policarbonato en su modalidad de película se utiliza para recubrir productos fabricados con otros plásticos o como producto independiente en la fabricación de displays, de tarjetas, para la fabricación de tableros de mando como en el Ford Mondeo [13]

2.2.3 Solubilidad del policarbonato

Para realizar un ensayo de solubilidad se toma aproximadamente 0.1 g del material plástico (de ser posible dividido en trozos pequeños) y se coloca en un tubo de ensayo con 5 mL a 10 mL de solvente. Durante el transcurso del tiempo (puede tardar un par de horas) el tubo se agita de vez en cuando y se observa el posible hinchamiento de la muestra. Si se considera necesario, el tubo se puede calentar ligeramente, pero con mucho cuidado. La evaluación de la solubilidad [14] se puede apreciar en la **Tabla 2 (Ver pag N° 23)**

Tabla 2
Solubilidad de polímeros

POLÍMERO	SOLUBLE EN:	INSOLUBLE EN:
Polietileno (PE)	Di-cloroetileno, hidrocarburos aromáticos en caliente	Alcoholes, ésteres (solventes polares)
Policloruro de vinilo (PVC)	Dimetilformamida, tetrahidrofurano	Alcoholes en general, acetato de butilo, hidrocarburos
Polietilentereftalato (PET)	Cresol, ácido sulfúrico concentrado	
Policarbonato (PC)	hidrocarburos ciclohexanona	clorados, Alcoholes, hidrocarburos alifáticos

Cadena (2000)

En la **Tabla 3** se muestra el grado de solubilidad del policarbonato en varios solventes [1]

Tabla 3
Solubilidad de policarbonato en diferentes solventes

SOLVENTE	GRADO DE SOLUBILIDAD
Benceno	Parcialmente soluble
Cloroformo	Soluble
Diclorometano	Soluble
Etanol comercial	Insoluble
Fenol	Soluble
Tetracloruro de carbono	Parcialmente soluble
Tolueno	Parcialmente soluble
Xileno	Parcialmente soluble

Esteban (2006)

Otro procedimiento para la determinación de la solubilidad se realiza en un tubo de ensayo con 0,1 g de material plástico finamente particulado con 10 mL de disolvente, se agita continuamente y se observa durante varias horas. Muchas veces el material se hincha y después se disuelve lentamente [15]

2.2.4 Tamaño de partícula

El término reducción de tamaño se aplica a todas las formas en las que un producto se puede cortar, romper, desmenuzar, triturar o descomponer en piezas o partículas más pequeñas. Concretamente, en el caso de la desintegración mecánica de sólidos las operaciones que se pueden llevar a cabo son: corte molienda, trituración y pulverización, mientras que, en los líquidos, las operaciones de reducción de tamaño de partícula son: emulsificación, homogeneización y atomización. La separación de materiales sólidos por su tamaño es importante para la producción de diferentes productos. La clasificación de las partículas suele hacerse mediante tamices en la etapa de tamizado. Debido a la amplia gama de tamaños que se pueden dar en esta operación, es importante clasificarlas, para lo que se utiliza el término de “apertura o luz de malla” [16]

Los tamices consisten en superficies con perforaciones uniformes por donde pasa parte del material y el resto será retenido por él. Para evaluar la eficacia de la clasificación de sólidos se coloca una columna de tamices, en la parte inferior de malla fina y en la superior de malla gruesa (tamices en cascada). El sólido se carga por arriba y se le aplica una vibración. Por el primer tamiz puede pasar casi todo porque presenta una apertura o luz de malla grande, pero en los siguientes van quedando retenidos sucesivamente los sólidos de menor tamaño. El producto por analizar o producto bruto, queda distribuido en diferentes fracciones según el tamaño de partícula denominándose rechazo al producto que queda sobre el tamiz y cernido al producto que atraviesa el tamiz [16]

El tamaño de partícula influye en las características de procesamiento de los polímeros para que los gránulos más grandes puedan tomar más energía o más tiempo durante la fusión, sin embargo, los gránulos muy finos pueden derretirse rápidamente, pero tienen el potencial de causar una acumulación de masa en la tolva o en el aire y crear peligros de polvo. Por ejemplo, las partículas más grandes tardan más en disolverse en el solvente, mientras que las partículas de menor tamaño se prefieren para una absorción más rápida del medicamento en aplicaciones médicas. La ASTM especifica el método de prueba estándar para determinar el tamaño de partícula de materiales plásticos por medio de un

dispositivo de tamizado mecánico. La norma establece que el uso de un agente antiestático es apropiado para minimizar la distorsión gruesa de los materiales que son propensos a desarrollar cargas estáticas [17]

2.2.5 Métodos de caracterización del Policarbonato

Reacción de color con P-Dimetilaminobenzaldehido

Esta reacción química es adecuada para detectar la presencia de policarbonatos y nylon en una muestra [13]

Procedimiento:

- a) Calentar 0,1 g a 0,2 g de la muestra en un tubo de ensayo hasta su desintegración (pirolización)
- b) Colectar los vapores obtenidos en un tapón de algodón o fibra de vidrio.
- c) Dejar caer sobre el algodón, algunas gotas de solución de metanol al 14% en P-Dimetilaminobenzaldehido con una gota de ácido clorhídrico.
- d) Si el algodón toma un color azul intenso, entonces la muestra corresponde a un policarbonato.
- e) En cambio, si se forma un anillo de color rojo, la muestra será de algún tipo de nylon.

Espectroscopía Infrarroja (IR)

La espectroscopía Infrarroja, es uno de los métodos instrumentales de mayor uso para el análisis de plásticos por su amplio rango de registro de absorción de energía. La zona con que trabaja este equipo es la franja de infrarrojo del espectro electromagnético que abarca desde 3 500 hasta 5 000 nm. Los resultados del análisis deben de interpretarse a partir de la lectura del espectro, el cual presentará una serie de picos en diferentes rangos de absorción.

Los espectros de cada plástico se pueden consultar en diversas publicaciones. Una de las más conocidas es "The Aldrich Library of Infrared Spectra" [13] tal como se muestra en la **Tabla 4 (Ver pag N° 26)**

Tabla 4
Bandas grupos funcionales PC

BANDA	LONG. DE ONDA (cm ⁻¹)
Flexión CH en aromáticos disustituidos; sustitución 1,4	830,34
Tensión C–O–Ar	1 079,70
Tensión C–O en esteres (dos bandas)	1 192,50 1 161,96
Tensión C–O	1 231,38
Flexión CH en CH ₃	1 366,31
Tensión C=O	1 768,82
Alargamiento CH en CH ₃	2 967,96

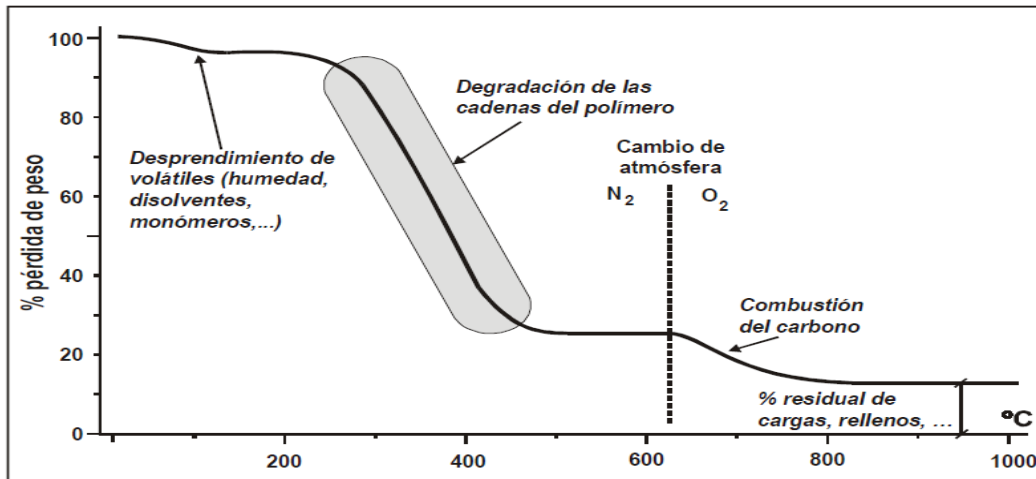
Esteban (2006)

Análisis Termogravimétrico (TGA)

La termogravimetría es una técnica que ha sido utilizada para la caracterización de materiales, en combinación con otros métodos térmicos provee una fuente de información no solamente térmica sino también química. La termogravimetría se basa en los cambios de masa como resultado de una variación de temperatura o por someter un material a una temperatura establecida durante un periodo definido. Los cambios de masa identificados permiten determinar en qué condiciones los materiales se descomponen. Los resultados se expresan gráficamente a través de termogramas. [18]

Este método se realizará bajo un flujo de nitrógeno de $\frac{20 \text{ mL}}{\text{Min}}$, a una velocidad de calentamiento de $\frac{10^\circ\text{C}}{\text{Min}}$ y en un intervalo de temperatura de 30°C a 600°C usando entre 10 – 15 mg de muestra [19] En la **Figura 9 (Ver pag N° 28)** se muestra un termograma característico referente a las diferentes transiciones que presenta el policarbonato.

Figura 8
Termograma característico de las diferentes transiciones



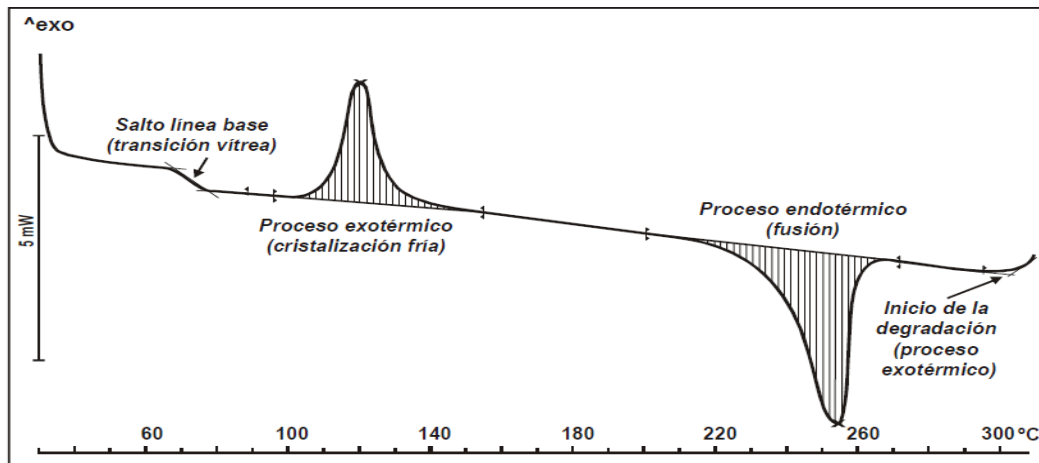
Sanchez (2013)

Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Este método es ideal de caracterización, usada para describir las transiciones de fase (un cambio físico que provoca una emisión o absorción de calor) e identificar cualitativa y cuantitativamente los materiales poliméricos, tiene la ventaja de presentar alta sensibilidad para detectar cambios en entalpía (tan pequeños de aproximadamente $\frac{0,01 J}{g}$) y tamaños de muestra muy pequeños (aproximadamente 10 mg). Un calorímetro diferencial de barrido mide la diferencia entre el flujo de calor suministrado a una muestra objeto de estudio y el suministrado a una de referencia, expuestas ambas al mismo programa térmico [15]

Los datos de DSC se obtendrán con cantidades de muestra entre 3 mg y 5 mg. Las muestras se calientan y enfrían a $\frac{10^{\circ}C}{min}$ bajo un flujo de nitrógeno de $\frac{20 mL}{min}$. Se utilizan el indio y el zinc como estándares para la calibración de la temperatura y la entalpía. Las temperaturas de transición vítrea se determinan a una velocidad de calentamiento de $\frac{20^{\circ}C}{min}$ a partir de muestra previamente fundida [19]

Figura 9
Curva calorimétrica de un termoplástico semi – cristalino



Sanchez (2004)

Cromatografía de permeación en gel (GPC)

La cromatografía de permeación en gel se realizará a 35°C con un equipo Waters provisto de un detector de índice de refracción RID-10A. las medidas se tomarán pasando 100 uL de disolución de 0,1% (p/v) de polímero de trifluoroacetato de sodio hexafluoroisopropanol, a través de una columna de poliestirenodivinilbenceno con una velocidad de flujo de $\frac{0,5 \text{ mL}}{\text{min}}$. Para la calibración se utilizarán patrones de polimetilmetacrilato (PMMA) [19]

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Recuperación de policarbonato en discos informáticos usados

Los discos informáticos inservibles son considerados gran fuente de contaminación ambiental, porque su destino final es principalmente, el relleno sanitario que contamina con metales pesados el suelo y el agua subterránea o la incineración que produce compuestos peligrosos como dioxinas y furanos los cuales pueden formarse durante la combustión.

Para solucionar esta problemática, la multinacional Bayer Polymer S.A. fabricante de policarbonato, tiene un programa de reciclaje donde maneja alrededor de 335 millones de discos informáticos al año los cuales somete a un proceso químico para eliminar el aluminio, las lacas y los tintes de impresión, finalmente mediante extrusión reutiliza el policarbonato, Bayer advierte que en este proceso de reciclaje mecánico el policarbonato obtenido no tiene la misma

calidad que el producto virgen, por lo tanto no se emplea nuevamente en la fabricación de discos compactos, pero si en la fabricación de otro tipo de productos [1]

Otro método por el cual se reciclan no solo discos informáticos sino cualquier tipo de productos compuestos primordialmente por policarbonato, se basa en un tratamiento químico con NaOH acuoso seguido de una acidulación con HCl, obteniendo el monómero de partida del policarbonato.

Pero la síntesis del policarbonato se realiza utilizando fosgeno, que es fuente de contaminación por su toxicidad, razón por la cual grupos de investigación de diferentes partes del mundo estudian una nueva forma de sintetizar el policarbonato sin emplear fosgeno [1]

2.3.2. Composición de los discos informáticos:

Soporte de policarbonato.- Un disco compacto está compuesto principalmente por policarbonato, aproximadamente en un 90%

Tintes.- Éstos son la parte más frágil de los CD's porque se deterioran produciendo cambios que afectan en la reflectividad y por lo tanto dando problemas de lectura. Los tipos de tintes más usados son cianina, cianina estabilizada con metal, diazo y ftalocianina.

Capa reflectiva.- El metal más usado para esta capa es el oro que, aunque tiene una excelente estabilidad, al ser una capa tan delgada se vuelve muy susceptible a daños por abrasión. Actualmente ésta capa está siendo sustituida por plata debido a que es más barata.

Laca de protección acrílica y etiqueta.- Estos elementos pueden significar riesgo debido a la contracción generada durante su proceso de manufactura [1]

2.3.3 Reducción de tamaño de discos informáticos

El tamaño de partícula en la recuperación de policarbonato ha sido poco estudiado, a pesar de ello, en un trabajo de investigación se utilizaron discos compactos recuperados antes de ser desechados, los cuales se partieron manualmente en cuatro partes y por último se trituraron en el molino de cuchillas Standard Model N° 3 Wiley Mill (diseñado en Filadelfia, Estados Unidos por Arthur H. Thomas Co) adecuado con un tamiz de 2mm, presente en el laboratorio

de Operaciones Unitarias de la escuela de Ingeniería Química. El objetivo de esta molienda fue facilitar la disolución del material [1]

2.3.4. Recuperación polímeros mediante disolución

Las dos principales vías para el tratamiento de este tipo de residuos son la recuperación de energía y el reciclado mecánico. La valorización energética se realiza mediante incineración de los residuos, aunque cuenta con una fuerte oposición social y una legislación que limita la emisión de CO₂. En cuanto al reciclado mecánico, a pesar de ser una técnica muy utilizada, los productos obtenidos son generalmente más caros que el plástico virgen y se requiere que el residuo de partida sea muy “limpio” y de alta calidad.

Debido a los inconvenientes citados, en los últimos años se están desarrollando métodos basados en el tratamiento con disolventes. Esta técnica, además, de proporcionar un polímero de alta calidad posee otra ventaja frente a los procesos anteriores porque también puede tratar plásticos “sucios” mediante el uso de un disolvente selectivo. Además, si este tratamiento de disolución de los plásticos se hiciese en el mismo punto de recogida, se minimizarían los costes de transporte, porque mediante el proceso de disolución se consigue reducir el volumen de estos en $\frac{1}{100}$ [20]

Son muchos los disolventes potenciales que pueden utilizarse, aunque normalmente se han usado compuestos aromáticos como el xileno, el benceno y el tolueno. Concretamente, han usado el xileno y la acetona para reciclar residuos de polipropileno (PP), comprobando que las propiedades del polímero no se ven afectadas tras varios ciclos de reciclado. También, han desarrollado un proceso para el reciclaje de poliestireno (PS) hasta el nivel de unidad de demostración, en el que se utilizan disolventes derivados de la pirólisis de los propios residuos de poliestireno, para reducir el volumen de plástico. Sin embargo, la utilización de este tipo de disolvente conduce a la obtención de un poliestireno de baja calidad que se degrada térmicamente en presencia de catalizador.

En los últimos años y con objeto de desarrollar tecnologías medioambientalmente aceptables se están desarrollando nuevos procesos que utilizan disolventes no tóxicos, entre los que se encuentran los aceites

terpénicos, que presentan una elevada capacidad de disolver los residuos sin mermar las características del polímero recuperado. Debido a la gran variedad de polímeros con estructuras y propiedades físicas y químicas, muy distintas, es difícil establecer un disolvente universal para todos ellos, además la información experimental disponible en bibliografía es escasa y está limitada a un rango muy bajo de sistemas polímeros/disolventes [20]

El proceso de disolución de un polímero está regido por la energía libre de mezcla:

$$\Delta G_m = \Delta H_m - T * \Delta S_m$$

Donde

ΔG_m : Es la energía libre de Gibbs de mezcla, ΔH_m es la variación de la entalpía de mezcla

T : Es la temperatura

ΔS_m : Es la variación de la entropía de mezcla.

En este proceso, la contribución entrópica es siempre negativa, por lo que el valor de entalpía es el que marca el signo de la energía libre de Gibbs. Debido a la relación establecida entre el parámetro de solubilidad y, los líquidos con parámetros de solubilidad similares dan lugar a $\Delta G < 0$. Por tanto, los polímeros se disolverán en aquellos disolventes, cuyos parámetros de solubilidad sean lo más parecidos a los suyos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que esta aproximación tan sólo es válida para disoluciones ideales, en las que las moléculas no cuentan con enlaces polares, puentes de hidrógeno, ni otras interacciones específicas. Hansen, amplió el concepto de parámetro de solubilidad, para lo que propuso que éste fuera el resultado de la contribución de los enlaces intermoleculares que componen las moléculas, como se muestra a través de la expresión siguiente:

$$\delta_{total}^2 = \delta_d^2 + \delta_p^2 + \delta_h^2$$

Cada término hace referencia a las distintas interacciones, así δ_d corresponde con las fuerzas no polares, también conocidas como de dispersión; δ_p es el

término que representa a las fuerzas polares, producidas por dipolos permanentes y por último δ_h hace referencia a las interacciones moleculares por puentes de hidrógeno, que, aunque son más débiles que los enlaces covalentes, tienen mayor importancia que las interacciones dipolo–dipolo. De igual modo que los δ_{total} para el polímero y el disolvente deben ser parecidos para que la disolución se produzca de manera espontánea, cuando se consideran parámetros de solubilidad parciales, debe haber similitud entre cada uno de los términos correspondientes al polímero y al disolvente [20]

Reciclaje químico

Como una alternativa al reciclaje mecánico se puede realizar el reciclaje químico, el cual, a diferencia del primero, implica cambios en la estructura química del material. El reciclaje químico, al basarse en una reacción química específica, no necesita los complicados pasos de purificación que son indispensables para el reciclaje mecánico. Además, permite utilizar el desecho plástico como fuente de materia prima, no solo para producir nuevamente el material original (como material virgen), sino producir otros materiales con diferentes características [21] Este proceso consiste en la descomposición química del polímero por diversos métodos:

- a) Despolimerización química.
- b) Gasificación.
- c) Fragmentación térmica o termólisis.
- d) Craqueo catalítico.

2.4 Definición de términos básicos

Discos informáticos

El disco informático es un objeto digital circular que ha sido ampliamente usado para guardar cualquier tipo de información como fotografías, documentos, videos y audios (actualmente su uso se ha reducido considerablemente debido al avance tecnológico y nuevas alternativas de almacenamiento de información). También se llama disco láser, disco óptico o CD (compact disc) por sus siglas en inglés; tiene una capacidad de almacenamiento de 650 MB o 700 MB, y se basa en la norma ISO 9660, la misma que establece un formato estándar para conocer

las estructuras de volumen y archivos de los discos compactos, en especial para los discos que solo son de lectura, estableciendo así una forma que le permite ser compatible con diferentes sistemas operativos existentes en el mercado [22]

Discos informáticos y su clasificación

CD-R (Compact Disc Recordable).- Es un disco compacto grabable en el cual se puede guardar información una sola vez y los datos almacenados no se pueden eliminar. Además, este disco puede ser leído por cualquier programa o dispositivo convencional y presenta la ventaja de guardar información sin poseer un gran conocimiento en el campo de la informática [22]

CD-RW (Compact Disc Rewritable).- Es un disco compacto regrabable de lectura y escritura, es decir, en éste se puede guardar información varias veces gracias a que todos los datos ya almacenados anteriormente pueden ser eliminados [22]

CD-ROM (Compact Disc Read – Only Memory).- Es un disco compacto grabado, en el cual los datos no se pueden ni editar ni eliminar. Tiene una capacidad de almacenamiento de 640 megabytes y se los utiliza para archivos multimedia y programas de computación, entre otros [22]

Fabricación de discos informáticos.- En la actualidad existen más de 400 productos distintos. Los discos tienen un diámetro de 12 cm y un grosor de 1,2 mm. La fabricación del disco se lleva a cabo mediante un material plástico llamado “policarbonato”. La información está grabada en el policarbonato, que se cubre después con una capa metálica reflectante y una capa de laca protectora [22]

Materiales plásticos.- El plástico es un material de diseño y construcción que compite con el acero, vidrio y madera. Existen gran variedad y generalmente son excelentes materiales aislantes muy resistentes a la acción química. Sin embargo, el mayor auge de estos materiales no se debe tanto a las propiedades mecánicas que poseen, sino a su bajo costo de fabricación, peso ligero y a la facilidad de obtener diferentes formas y colores [23]

Polímeros.- Un polímero es una especie química de elevado peso molecular, su elevado tamaño se alcanza por la unión repetida de pequeñas moléculas denominadas monómeros [23]

Termoplásticos.- Un termoplástico requiere calor para darle forma y después de enfriado puede ser calentado nuevamente y ablandado por efecto de la ruptura de las fuerzas de atracción entre las cadenas para ser moldeado; al enfriarse, se restablecen las fuerzas de atracción y por lo tanto se endurece; este ciclo de calentamiento–ablandamiento–enfriamiento–endurecimiento puede repetirse indefinidamente [23]

Polímeros termoestables.- Son aquellos compuestos que al ser sometidos al calentamiento hasta fundirlos sufren una alteración tanto química como estructural porque la ruptura de los enlaces es irreversible, esto causa que al calentarse nuevamente no se puedan volver a moldear; estos polímeros son en general los reticulados, tales como las resinas epóxicas, poliuretanos y las resinas fenólicas [23]

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

Hipótesis general

El tamaño de partícula y tipo de solvente influyen positivamente en una mejor recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados.

Hipótesis específicas

- 1) Un menor tamaño de partícula permite una mejor recuperación de policarbonato y separación de impurezas a partir de discos informáticos usados.
- 2) La estructura química del solvente influye positivamente en la recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados.

3.1.1 Operacionalización de variable

Definición conceptual de variables

Por su naturaleza, todas las variables identificadas son del tipo cuantitativas. Por su dependencia Y es dependiente, y las variables X_1 y X_2 son independientes. Es decir:

$$Y = f(X_1, X_2)$$

Donde:

- Y : Recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados.
- X_1 : Tamaño de partícula de discos informáticos usados.
- X_2 : Tipo de solvente.

Operacionalización de variables

La operacionalización de las variables de la presente investigación se muestra en la **Tabla 5 (Ver pag N° 36)**

Tabla 5
Operacionalización de variables

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODOS
Y= Recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados.	✓ Características químicas	Presencia de grupos funcionales	Espectroscopía Infrarroja
	✓ Eficiencia	Grado de recuperación	Gravimetría
VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODOS
X1 = Tamaño de partícula de discos informáticos usados	✓ Granulometría	Milímetros	Medición
	✓ Composición	% en peso	Espectroscopía Infrarroja
	✓ Características	Color, brillo	Observación
X2 = Tipo de solvente	✓ Grado de solubilidad	% en peso	Diferencia de peso
	✓ Composición	Grado de recuperación	Gravimetría

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada porque busca brindar un mayor alcance respecto a los factores que pueden influenciar en la recuperación y reciclaje químico del policarbonato a partir de discos informáticos en desuso. Asimismo, el enfoque de la presente investigación es de carácter cuantitativo puesto que buscamos obtener los parámetros óptimos de tamaño de partícula y tipo de solvente para alcanzar una mejor recuperación del policarbonato en los discos, esto, a partir de las bases teóricas planteadas. La parte experimental y el desarrollo de las pruebas se realizaron en el laboratorio, donde se analizan y registran las variables que intervienen. El diseño de la investigación es de un experimento factorial de dos factores con tres niveles cada uno y con dos réplicas de diseño (**Tabla 6**)

Tabla 6
Niveles de Variables

N°	Variable	Notación	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
1	Tamaño de partícula	X_1	X_{11}	X_{12}	X_{13}
2	Tipo de solvente	X_2	X_{21}	X_{22}	X_{23}

En la **Tabla 7 (Ver pag N° 38)** se muestra la matriz de experimentación. En base al plan de experimentación, donde se consideran nueve corridas con tres repeticiones cada una de ellas, se desarrollarán 27 pruebas experimentales.

Tabla 7
Plan de experimentos

N°	Variables		Resultados
	X ₁	X ₂	Y
1		X ₂₁	Y ₁
2	X ₁₁	X ₂₂	Y ₂
3		X ₂₃	Y ₃
4		X ₂₁	Y ₄
5	X ₁₂	X ₂₂	Y ₅
6		X ₂₃	Y ₆
7		X ₂₁	Y ₇
8	X ₁₃	X ₂₂	Y ₈
9		X ₂₃	Y ₉

4.2. Método de investigación

En la presente investigación se utilizó el método observacional, comparativo y experimental porque se ha basado en la experimentación, observación científica y la medición para obtener el grado de recuperación del policarbonato.

4.2.1. Acondicionamiento de la materia prima

Esto consistió en el lavado, enjuague y secado de discos informáticos con la finalidad de retirar la película metálica. Se utilizaron discos compactos en desuso, se procedió a un lavado con detergente, agua potable y una escobilla e inmediato secado con un trapo. Posteriormente con cinta adhesiva sobre toda la superficie blanca del disco se jala para retirar la película metálica adherida al disco de tal forma de disminuir las partículas contaminantes y solidos en la disolución final.

Reducción de tamaño

Se procedió a cortar los discos informáticos de acuerdo con los tamaños de partícula seleccionados de 5, 10 y 20 mm, esto con la ayuda de tijeras caseras.

Tamizado

Se tamizó el material triturado proveniente de la etapa anterior y se separaron los discos triturados de tamaños de partícula de 20 mm, 10 mm y 5 mm para iniciar el tratamiento.

4.2.2. Selección de solventes

Para seleccionar los solventes adecuados que nos permitan la recuperación del policarbonato se han realizado pruebas de solubilidad. Se utilizaron muestras, de 1 g cada una de ellas, de discos triturados de tamaño de partícula promedio de 10 mm.

Se colocó cada muestra en un tubo de ensayo y se mezclaron con 50 mL y 35 mL de los siguientes solventes a temperatura ambiente por el tiempo de 24 horas:

- a) Cloroformo QP
- b) Acetona QP
- c) Ácido Acético QP
- d) Diclorometano QP
- e) Fenol al 10%

Se agitaron los tubos en periodos determinados y después de 24 horas el material con los solventes se filtraron las soluciones. El material filtrado se secó en una estufa de aire caliente para eliminar el solvente y finalmente se determinó el peso del policarbonato recuperado.

Se seleccionaron los tres solventes correspondientes a las muestras sólidas que después del filtrado y secado tengan menos masa, esto indicará que el solvente logró penetrar y disolver al material en mayor grado que los demás.

4.2.3. Tratamiento de material triturado

Se agregaron 3 g de discos triturados de diferentes tamaños de partícula (5 mm, 10 mm y 20 mm) con 30 mL de solventes seleccionados (diclorometano, cloroformo y fenol al 10%), luego se procede a realizar una agitación magnética por 60 minutos para la dilución del policarbonato contenido en los discos, posteriormente se filtra esta solución con un papel filtro #40 para retener la capa

reflectiva de los discos que no han sido disueltas. Finalmente se realiza una destilación simple para separar el policarbonato del solvente extractor.

4.2.4 Caracterización del policarbonato

Pulverización del material.- Se retiró el policarbonato separado de la disolución y se calienta por 60 min aproximadamente para secar la muestra. Posteriormente se trituró el material secado con un mortero para su posterior análisis.

Análisis por espectroscopía.- Se procedió a realizar el análisis de las muestras a través de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (ATR) para corroborar que no ha habido desnaturalización del policarbonato.

4.2.5 Recuperación de solventes

El solvente condensado de la destilación se puede volver a utilizar para disolver al policarbonato triturado en la fase inicial.

4.3. Población y muestra

La población son los discos informáticos usados en el planeta.

La muestra estuvo constituida por discos informáticos usados y recolectados en la provincia del Callao. Las muestras experimentales están conformadas por 3 g de discos pretratados y triturados con tamaños de partícula de 20 mm, 10 mm y 5 mm. Se preparó aproximadamente 100 g de discos cortados para cada tamaño de partícula a trabajar.

4.4 Lugar de estudio y periodo de desarrollo

Las pruebas experimentales se realizaron en el Laboratorio de Química y Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios (LOPU) de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Callao, la cual está ubicada en Juan Pablo II 306, Bellavista 07011, en la Provincia Constitucional del Callao. Estas pruebas se realizaron en el periodo del primer semestre del 2022 abarcando las pruebas experimentales, análisis de datos y elaboración de informe final.

Las pruebas de caracterización de policarbonato por espectroscopía ATR se realizaron en el Laboratorio de Investigación de Nanotecnología y Biopolímeros de la Universidad Nacional José María Arguedas.

4.5 Técnicas e instrumentos para recolección de la información

Reducción de tamaño de los discos compactos

Se realizó la reducción de manera manual con tijeras y teniendo en cuenta cortes con tamaño de partícula de 5 mm, 10 mm y 20 mm aproximadamente. Se cortaron 500 g de discos compactos para luego ser tamizados de acuerdo con el tamaño de partícula.

Figura 10
Discos compactos cortados y tamizados



Disolución de los discos en solvente

Se agregaron 3 g de discos triturados con 30 mL de solvente y se procedió a realizar agitación magnética por 60 min para disolver el policarbonato del disco en el solvente.

Se trabajaron con tres tamaños de partícula (5 mm, 10 mm y 20 mm) y tres tipos de solventes (diclorometano, cloroformo y fenol al 10%)

Figura 11
Dilución de discos compactos en solventes



Destilación simple para la recuperación de policarbonato y solvente.

Esta técnica se utilizó para realizar la separación del solvente de la disolución formada solvente – policarbonato, con lo cual se podrá tener el policarbonato recuperado y solvente para su reuso.

Se realizó de la siguiente manera: Una vez filtrada la solución solvente – PC queda lista para la separación del policarbonato mediante destilación, para lo cual se siguen los siguientes pasos:

- a) Se arma el equipo de destilación como se muestra en la **Figura 14 (Ver pag Nº 48)**
- b) Se llena el balón de destilación con la disolución policarbonato/solvente y se agrega 500 ml de agua para controlar la ebullición del solvente.
- c) Se ajusta la cocinilla a la temperatura de ebullición respectiva de cada solvente para empezar a retirar el solvente y dejar únicamente en el balón al policarbonato en forma solida e inmiscible con el agua.
- d) Luego de aproximadamente 60 min en promedio se logra evaporar todo el solvente de la disolución y se forma la capa insoluble del policarbonato en el agua.

Figura 12
Destilación de solventes



Espectroscopia ATR para caracterización del policarbonato.

El ATR (Attenuated Total Reflection) es una técnica de muestreo utilizada en el infrarrojo, la cual se produce cuando una radiación infrarroja entra en un cristal ATR transmisor y de alto índice de refracción. El cristal está diseñado para permitir una reflexión interna total que crea una onda evanescente sobre la superficie del cristal. Esta onda se extiende a la muestra que se mantiene en contacto íntimo con el cristal, registrándose el espectro de infrarrojo del analito. Esta técnica se utilizará para determinar los grupos funcionales del policarbonato recuperado de tal manera que se pueda determinar no ha sufrido desnaturalización alguna [15]

Este análisis permite la obtención de los espectros infrarrojos por el módulo de ATR (Reflectancia Total Atenuada) del FTIR (Espectrofotómetro Infrarrojo por Transformada de Fourier) modelo Nicolet IS50, en el rango medio ($4\ 000 - 400\ \text{cm}^{-1}$), con una resolución de 8 y con 32 barridos, empleando una corrección avanzada de ATR, con los siguientes valores: cristal diamante, ángulo de incidencia: 45° e índice de refracción de la muestra: 1.5

Instrumentos

Se utilizaron diferentes equipos materiales y reactivos de laboratorio como:

Equipos

- a) Balanza digital, Eurolab de 4 decimales.
- b) Equipo agitador de tamices Rotap de 8".
- c) Estufa de secado Oven de 50°C a 250°C
- d) Taladro de mano Bosch de 600 w.
- e) Equipo de destilación simple Boeco de 250 mL.
- f) Calentador eléctrico Imaco de 1 000 w.

Materiales

- a) Mortero y pilón
- b) Tijeras simples
- c) Tubos de ensayo de 5 mL y 10 mL
- d) Matraces Erlenmeyer de 500 mL
- e) Vasos de precipitados de 500 mL
- f) Papel filtro Whatman N° 40
- g) Probetas de 50 mL
- h) Pipetas de 5 mL y 10 mL

Reactivos

- a) Cloroformo QP
- b) Acetona comercial QP
- c) Ácido acético QP
- d) Diclorometano QP
- e) Fenol al 10%

4.6 Análisis y procesamiento de datos

En la parte de análisis de los datos se utilizó la varianza ANOVA para determinar si existen diferencias significativas en el comportamiento de los factores escogidos en el diseño (tamaño de partícula y tipo de solvente), se manejó el paquete estadístico Minitab en el cual se controla que el error se mantenga por debajo del 5% y dar la confiabilidad correspondiente a los resultados. El factor

de partícula fue evaluado en los niveles 5 mm, 10 mm y 20 mm; mientras que el factor tipo de solvente fue evaluado en los niveles diclorometano, cloroformo y fenol.

Para el análisis y comparación de porcentajes de recuperación obtenido en los diversos ensayos, se empleó el programa Excel de Microsoft Office.

4.7 Aspectos éticos en investigación

La presente investigación cumple con las medidas éticas y de seguridad para la precaución de daños a las personas, animales y medio ambiente, con manejo responsable de las sustancias químicas a usar, así como de los residuos generados durante las pruebas experimentales.

Los datos recopilados durante la investigación son confiables debido a que se ha trabajado con equipos debidamente calibrados.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

Prueba de solubilidad

Se evaluó el nivel de solubilidad del policarbonato en los seis solventes elegidos para poder seleccionar los mejores de porcentajes de disolución. Los resultados de las pruebas de solubilidad se muestran en la **Tabla 8**

Tabla 8
Pruebas de solubilidad de solventes

Solvente	Vol. (mL)	Peso PC (g), inicial	Peso PC (g), final	%Disuelto
Acetona	50	1,0174	0,8388	17,5528
Acetona	35	1,0048	0,8346	16,9412
Ac. Acético	50	1,0007	0,8094	19,1146
Ac. acético	35	1,0018	0,8113	19,0202
Cloroformo	50	1,0026	0,0952	90,5047
Cloroformo	35	1,0075	0,1045	89,6278
Diclorometano	50	1,0031	0,0530	94,7164
Diclorometano	35	1,0080	0,0777	92,2917
Fenol 10%	50	1,0044	0,7468	25,6447
Fenol 10%	35	1,0022	0,7557	24,5960

Recuperación de PC en las pruebas con solventes seleccionados

Se evaluó los porcentajes de recuperación en función de los tres solventes seleccionados de la prueba anterior y los tres tamaños de partícula seleccionados inicialmente. El volumen de solvente en las corridas fue 30 mL y el peso de disco de 3 g. Los promedios de los resultados se muestran en la **Tabla 9 (Ver anexos del 02 al 04)**

Tabla 9
Recuperación de PC - Promedio de corridas experimentales

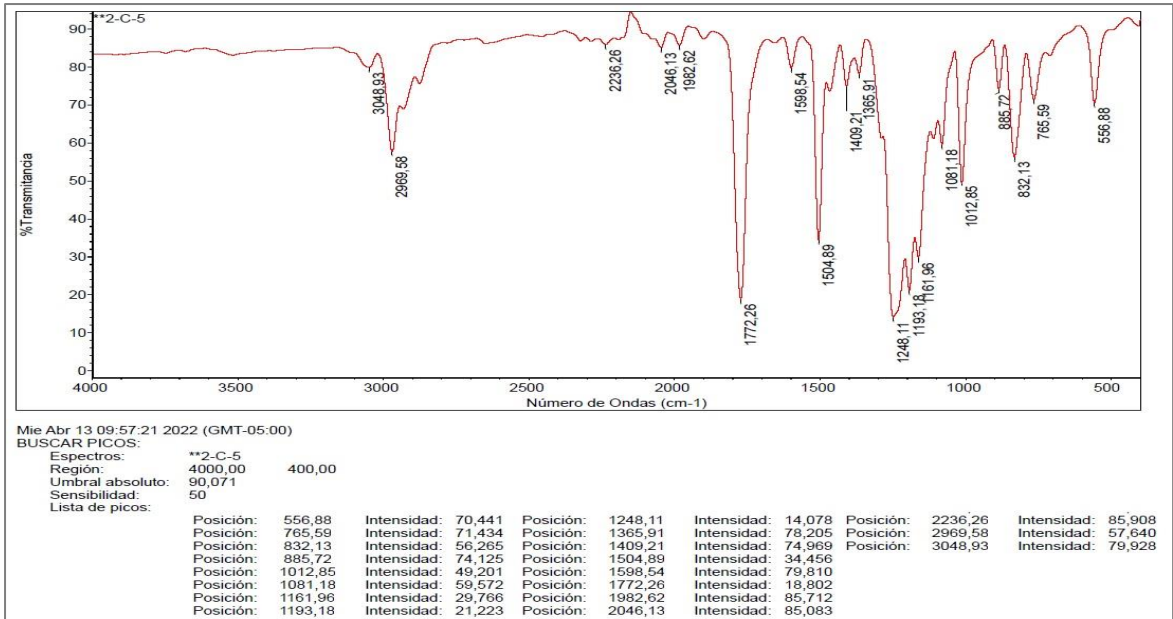
PROMEDIO CORRIDAS EXPERIMENTALES				
ITEM	SOLVENTE	TAMAÑO PARTICULA (mm)	PC EXTRAÍDO (g)	PORCENTAJE PC EXTRAÍDO (%)
1	Diclorometano	5	2,46	82,00
2		10	2,37	79,00
3		20	2,39	79,67
4		10	2,42	80,67
5	Cloroformo	20	2,33	77,67
6		20	2,34	78,00
7		5	0,62	20,67
8	Fenol al 10%	10	0,63	21,00
9		20	0,58	19,44

Caracterización del policarbonato

El policarbonato obtenido de la recuperación se analizó mediante espectrofotometría ATR para corroborar que no hubo desnaturalización del policarbonato. Los resultados se muestran en las **Figuras de la 13 a la 18 (Ver pag de la N° 48 a la N° 50)**.

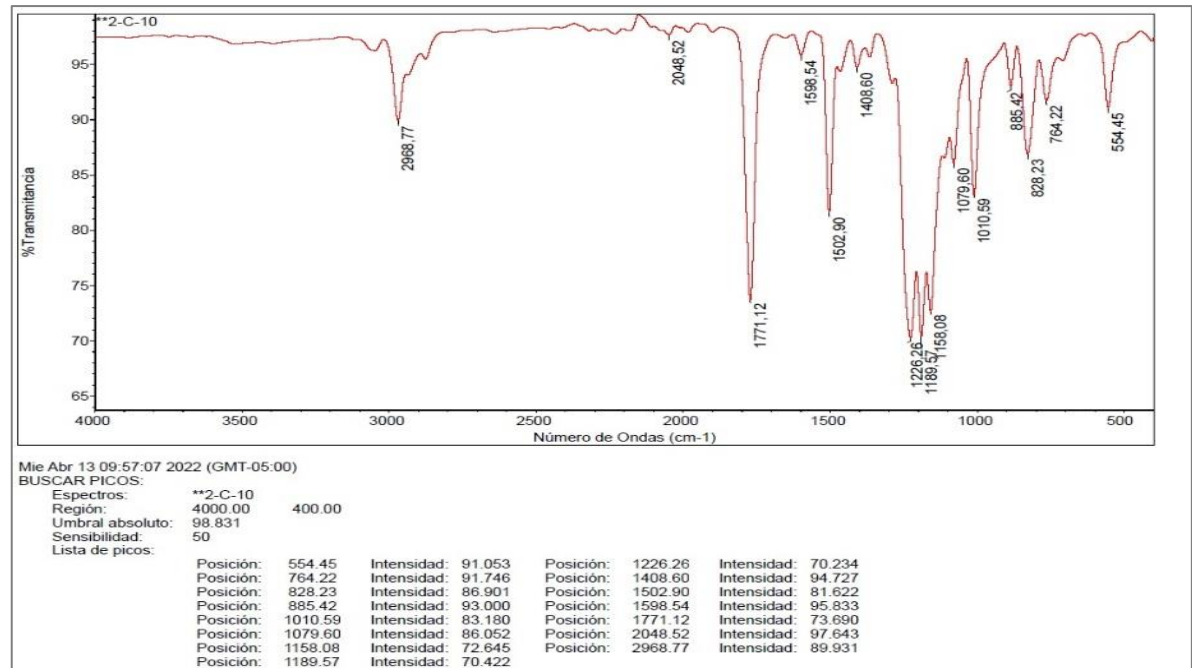
Este grupo de figuras (espectrogramas) reúnen los espectros obtenidos, en donde se evidencian grupos funcionales característicos del policarbonato, enlaces C–H entre $2\ 800\text{ cm}^{-1}$ – $3\ 000\text{ cm}^{-1}$, C=O alrededor de $1\ 750\text{ cm}^{-1}$, enlaces C–C desde $1\ 400\text{ cm}^{-1}$ – $1\ 600\text{ cm}^{-1}$, $-CH_2$ y $-CH_3$ entre 500 cm^{-1} – $1\ 300\text{ cm}^{-1}$. De esta manera se identifica al policarbonato a través de las bandas características.

Figura 13
Espectrograma ATR – 2ª corrida – cloroformo – 5 mm



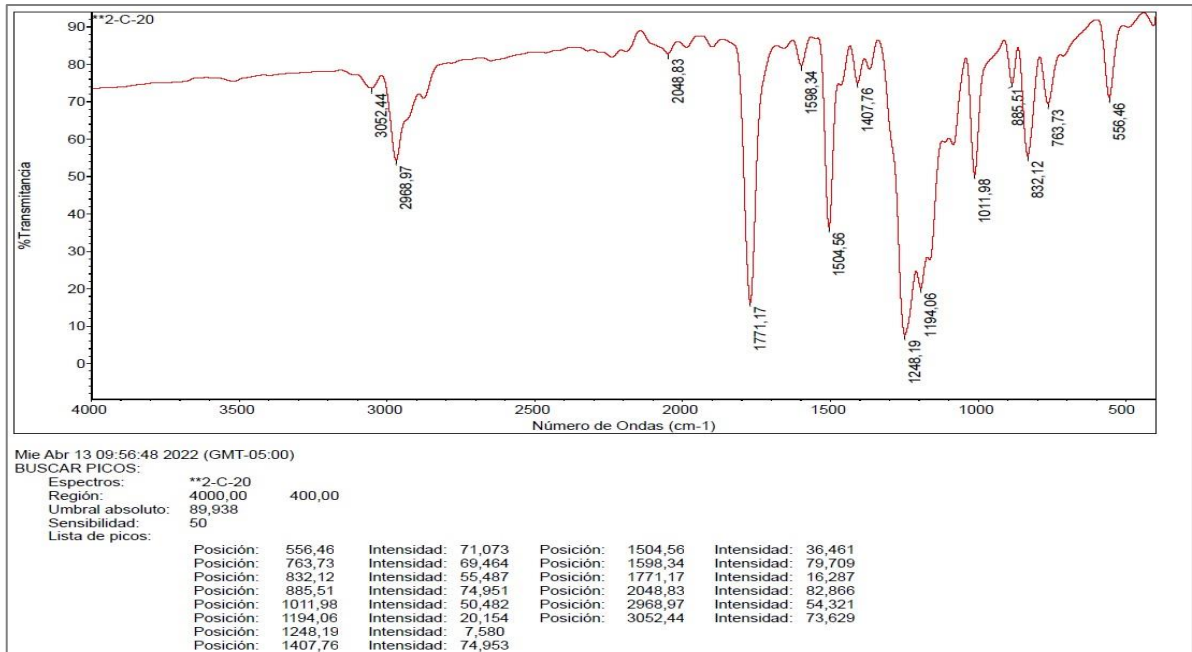
Laboratorio de investigación en nanotecnología de alimentos, UNJMA

Figura 14
Espectrograma ATR – 2ª corrida – cloroformo – 10 mm



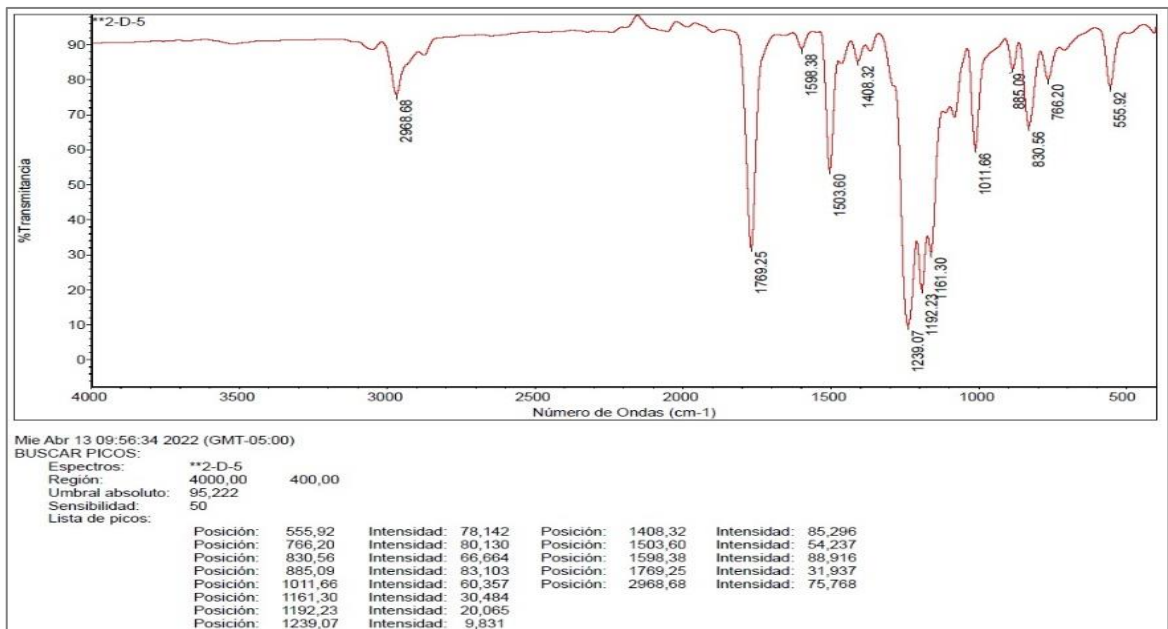
Laboratorio de investigación en nanotecnología de alimentos, UNJMA.

Figura 15
Espectrograma ATR – 2° corrida – cloroformo – 20 mm



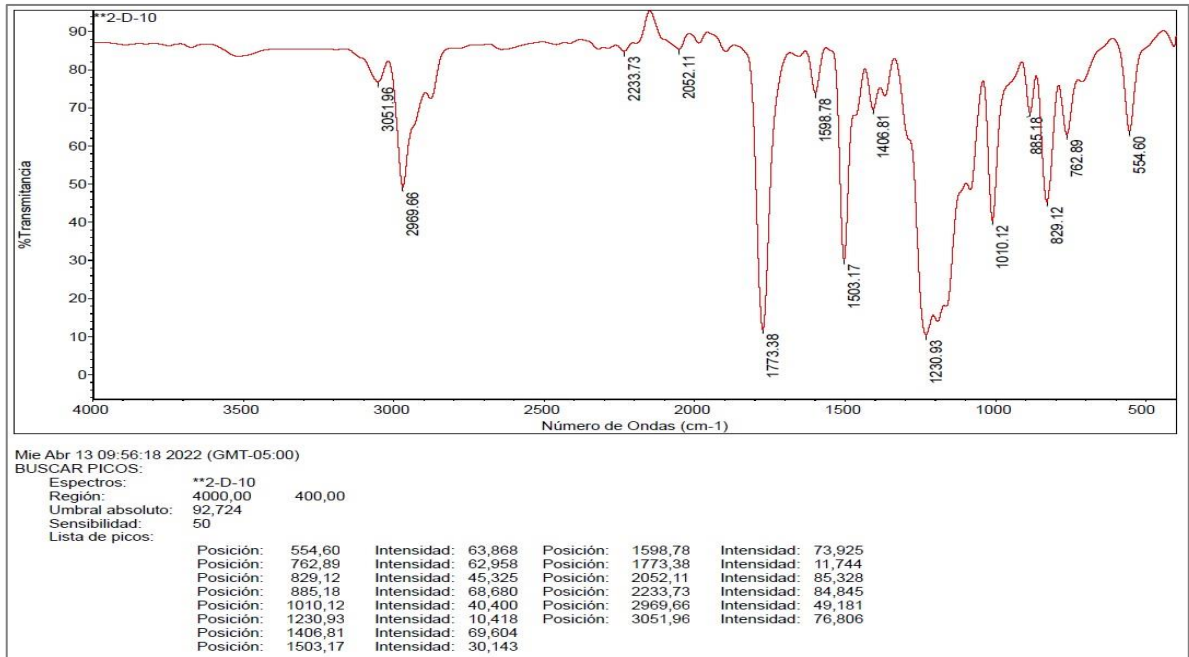
Laboratorio de investigación en nanotecnología de alimentos, UNJMA

Figura 16
Espectrograma ATR – 2° corrida – diclorometano – 5 mm



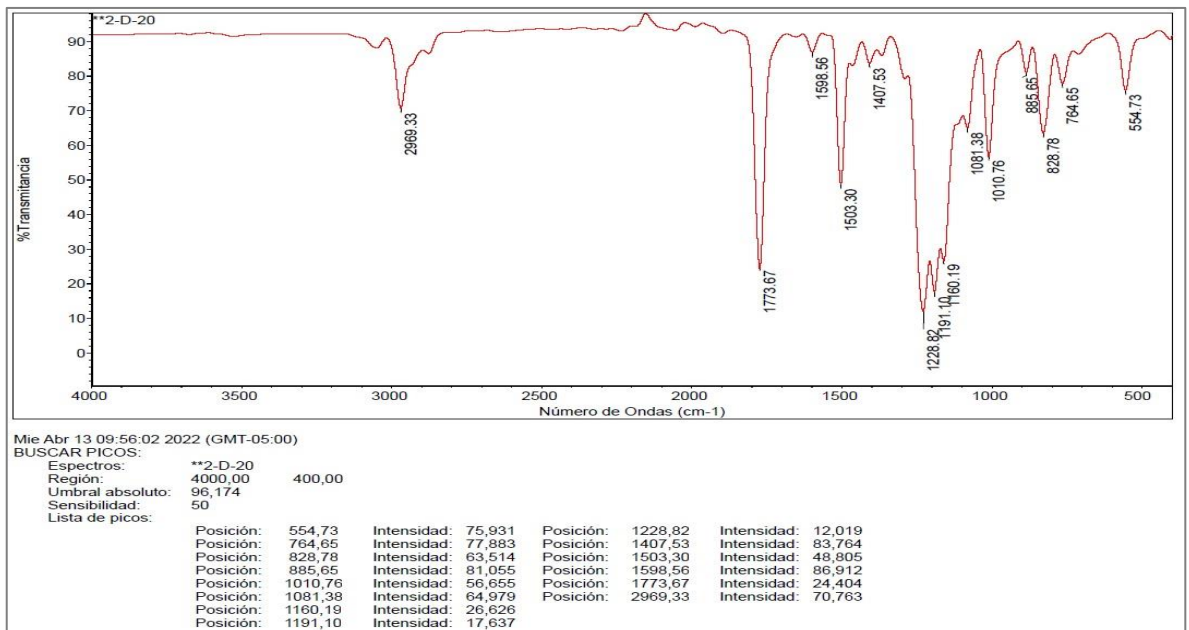
Laboratorio de investigación en nanotecnología de alimentos, UNJMA

Figura 17
Espectrograma ATR – 2° corrida – diclorometano – 10 mm



Laboratorio de investigación en nanotecnología de alimentos, UNJMA

Figura 18
Espectrograma ATR – 2° corrida – diclorometano – 20 mm



Laboratorio de investigación en nanotecnología de alimentos, UNJMA.

5.2. Resultados inferenciales

Los resultados inferenciales pertenecen a la etapa de recuperación de policarbonato bajo la influencia de dos factores (tamaño de partícula y tipo de solvente). Se realizó un análisis de varianza para cada factor (**Figura 19 y 20, Ver pag N° 52**) y para el efecto mixto de ambos factores con relación a la recuperación de policarbonato (**Figura 21, ver pag N° 53**). De esta manera se determinaron la influencia de cada factor y del efecto mixto. Se tomó como valores de significancia considerables aquellos con valor de p, menores a 0,05. Se evaluó el “Valor p” del análisis de varianza en la **Figura 19** para tamaños de partícula 5 mm, 10 mm y 20 mm de donde se pudo inferir que no existe una diferencia o variación significativa dentro del rango de tamaño de partículas seleccionado con respecto a su influencia para la recuperación de policarbonato.

Figura 19
Análisis de varianza con respecto al tamaño de partícula

Análisis de Varianza – Tamaño de partícula					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	21049.3	2631.2	772.19	0.000
Lineal	4	21037.8	5259.4	1543.53	0.000
TAMAÑO DE PARTICULA	2	24.2	12.1	3.55	0.050
Error	18	61.3	3.4		
Total	26	21110.7			

Se evaluó el “Valor p” del análisis de varianza en la **Figura 20 (Ver pag N° 52)** para los solventes diclorometano, cloroformo y fenol, de donde se pudo inferir que existe una diferencia o variación significativa dentro del grupo de solventes seleccionados con respecto a su influencia para la recuperación de policarbonato.

Figura 20
Análisis de varianza con respecto al tipo de solvente

Análisis de Varianza – Solvente					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	21049.3	2631.2	772.19	0.000
Lineal	4	21037.8	5259.4	1543.53	0.000
SOLVENTE	2	21013.6	10506.8	3083.51	0.000
Error	18	61.3	3.4		
Total	26	21110.7			

Se evaluó el “Valor p” del análisis de varianza en la **Figura 21 (Ver pag N° 53)** para la combinación de tamaños de partícula 5 mm, 10 mm y 20 mm con tipos de solventes diclorometano, cloroformo y fenol de donde se pudo inferir que no existe una diferencia o variación significativa en base a la combinación de los grupos usados de tamaño de partícula y tipo de solvente con respecto a su influencia para la recuperación de policarbonato. Se apreció que la combinación de tamaño de partícula de 5 mm (tamaño de partícula – 5) con el solvente diclorometano (solvente – 1), es la combinación que presenta el mayor nivel de significancia para la recuperación del policarbonato, mostrando un “valor p” de 0,0539

Figura 21
Análisis de varianza global

Análisis de Varianza – Efectos mixtos					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	21049.3	2631.2	772.19	0.000
Lineal	4	21037.8	5259.4	1543.53	0.000
TAMAÑO DE PARTICULA	2	24.2	12.1	3.55	0.050
SOLVENTE	2	21013.6	10506.8	3083.51	0.000
Interacciones de 2 términos	4	11.6	2.9	0.85	0.513
TAMAÑO DE PARTICULA*SOLVENTE	4	11.6	2.9	0.85	0.513
Error	18	61.3	3.4		
Total	26	21110.7			

Resumen del modelo			
S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
1.84592	99.71%	99.58%	99.35%

Coefficientes					
Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	59.778	0.355	168.27	0.000	
TAMAÑO DE PARTICULA					
5	1.333	0.502	2.65	0.016	1.33
10	-0.556	0.502	-1.11	0.283	1.33
SOLVENTE					
1	20.444	0.502	40.69	0.000	1.33
2	19.000	0.502	37.82	0.000	1.33
TAMAÑO DE PARTICULA*SOLVENTE					
5 1	0.444	0.710	0.63	0.539	1.78
5 2	0.556	0.710	0.78	0.444	1.78
10 1	-0.667	0.710	-0.94	0.361	1.78
10 2	-0.556	0.710	-0.78	0.444	1.78

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Con los resultados obtenidos se hizo el análisis correspondiente con el cual se comprueba la influencia positiva del tamaño de partícula y la estructura química del solvente en la recuperación del policarbonato, siendo este segundo el de mayor preponderancia.

6.1.1. Prueba de solubilidad

En base a los resultados de la **Tabla 8 (Ver pag Nº 46)**, se escogieron al cloroformo, diclorometano y el fenol al 10% debido a que presentaron un mayor grado de disolución del policarbonato. En el caso del cloroformo y diclorometano alcanzaron valores de recuperación por encima de 75% en promedio en comparación con del resto de solventes. Esto se contrasta con la información bibliográfica que indica un buen índice de solubilidad en hidrocarburos clorados. Para el caso del fenol al 10% se puede apreciar un menor grado de disolución (25,6 %) lo cual apunta directamente al grado de concentración de este solvente y la estructura química del mismo. Se optó por el uso del fenol al 10% como tercer solvente, para poder analizar con el resultado de la tesis referencial en la cual utilizan fenol de alta concentración, con lo cual se podría hacer una comparación de la recuperación en función de la concentración de fenol.

6.1.2. Recuperación de PC en las pruebas con solventes seleccionados

En base a los resultados de la **Tabla 09 (Ver pag Nº 47)**, se puede apreciar que los mejores porcentajes de recuperación, con promedios de 79%, se generan con los solventes diclorometano y cloroformo con una variación ínfima en cuanto al cambio del tamaño de partícula, lo que denota que la selección del solvente tiene mayor influencia al momento de evaluar el impacto sobre la recuperación del policarbonato. En cuanto al fenol al 10% también presenta un porcentaje de recuperación promedio en 20%, indistintamente del tamaño de partícula seleccionado, pero en menor grado en comparación de los hidrocarburos clorados seleccionados, lo que refuerza la influencia del solvente usado al momento de recuperar el policarbonato.

Análisis de la recuperación en función del tamaño de partícula

Con respecto a la hipótesis específica: “Un menor tamaño de partícula permite una mejor recuperación de policarbonato y separación de impurezas a partir de discos informáticos usados”.

Respecto a esta hipótesis, haciendo una comparación de las **Figuras 22, 23 (Ver pag N° 56) y 24 (Ver pag N° 56)**, se observa que la variable respuesta porcentaje de recuperación, para los tres solventes utilizados, se mantiene prácticamente constante ante el cambio de tamaño de partícula, lo cual denota el menor grado de influencia del tamaño de partícula sobre el porcentaje de recuperación del policarbonato, esto, para el rango de tamaño partícula trabajado de 5 mm, 10 mm y 20 mm. Sin embargo, se puede inferir que los mejores resultados se obtienen para un tamaño de partícula de 5 mm

Figura 22
Recuperación en función del tamaño de partícula, solvente cloroformo

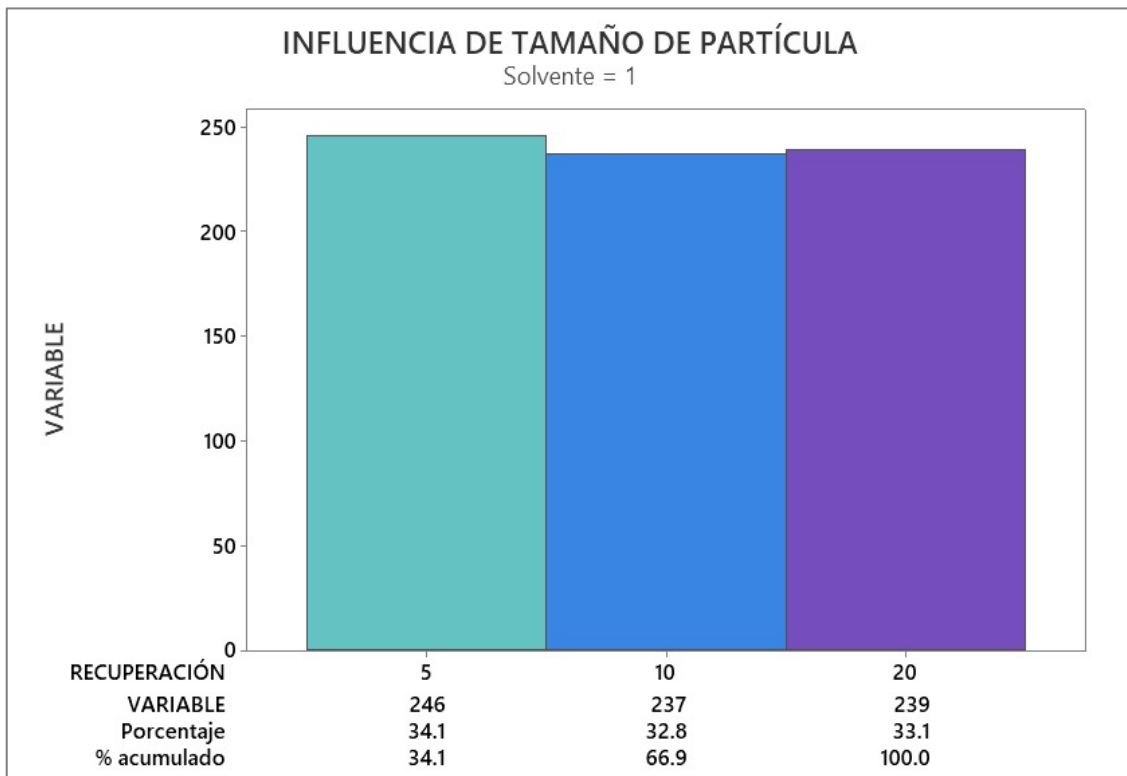


Figura 23

Recuperación en función del tamaño de partícula, solvente diclorometano

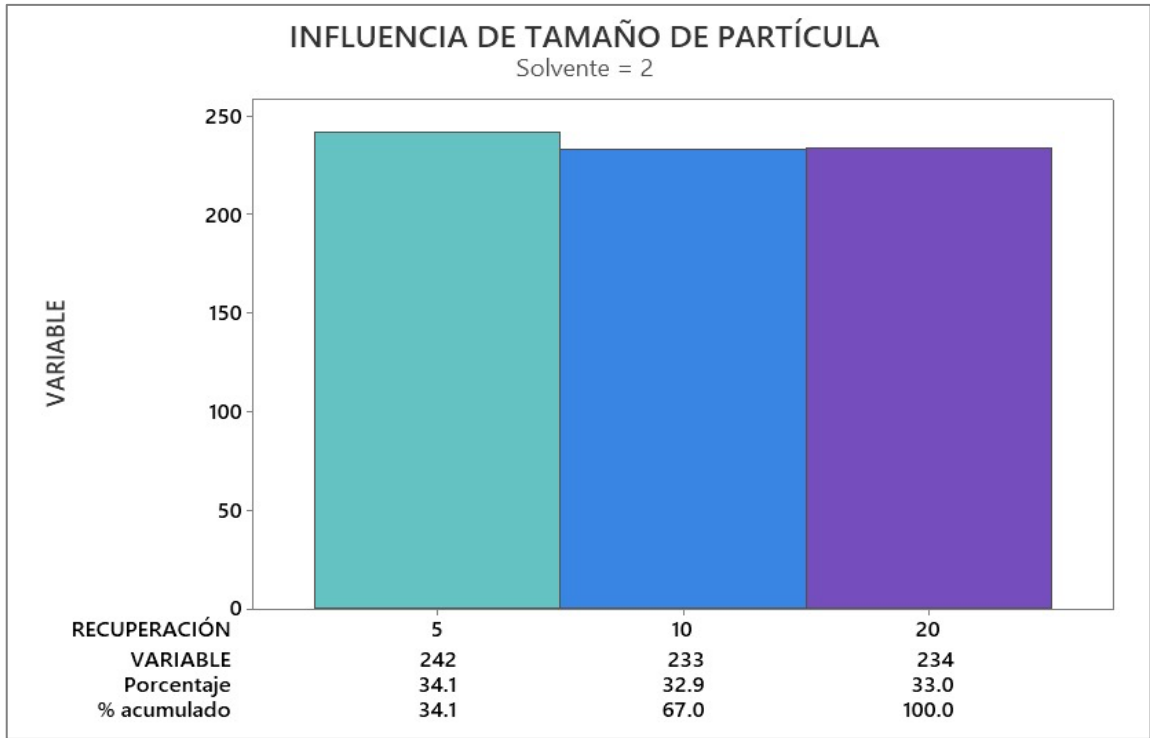
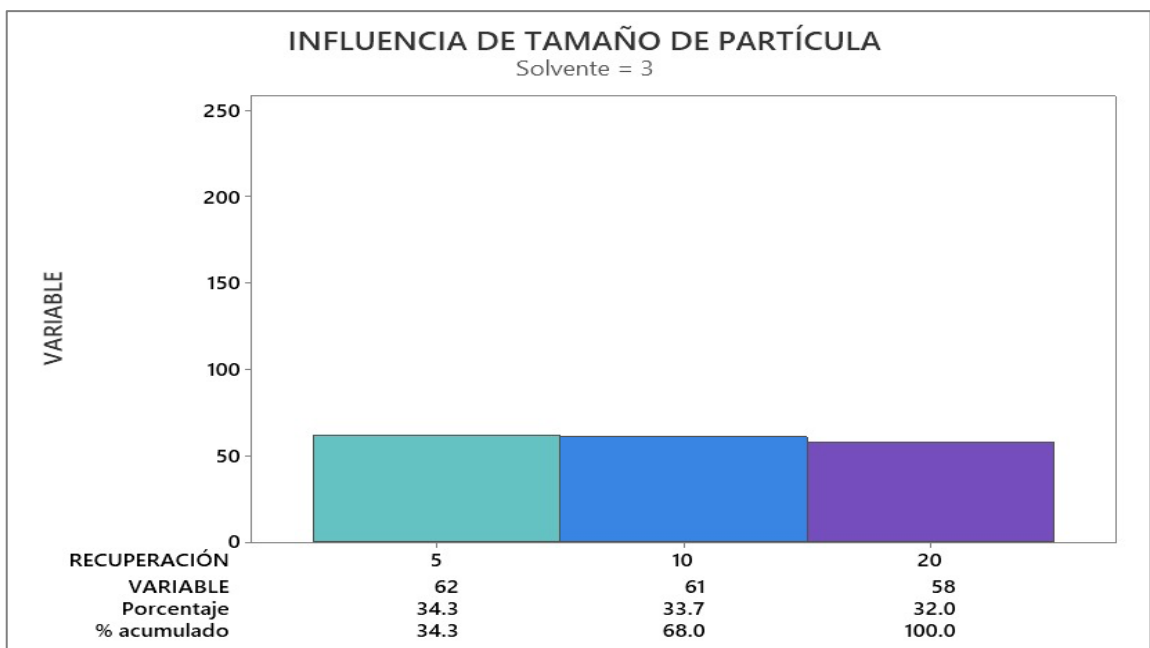


Figura 24

Recuperación en función del tamaño de partícula, solvente fenol al 10%



Análisis de la recuperación en función del tipo de solvente

Con respecto a la hipótesis específica: “La estructura química del solvente influencia positivamente en la recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados”.

Respecto a esta hipótesis, haciendo una comparación de las **Figuras 25, 26 (Ver pag N° 58) y 27 (Ver pag N° 58)**, se observa que la variable respuesta porcentaje de recuperación, varía considerablemente cuando se compara en función al tipo de solvente; sobre todo cuando se hace la comparación entre diclorometano y cloroformo con el fenol al 10%. Esta variación con respecto al fenol se puede explicar porque se ha utilizado una solución acuosa diluida de este compuesto, a diferencia del diclorometano y cloroformo que eran sustancias puras. Esto es algo que se pudo apreciar desde las pruebas de dilución, en la cual el fenol no termina de diluir las partículas de policarbonato. Sin embargo, se puede inferir que se obtienen los mejores resultados con el diclorometano para los tres tamaños de partícula utilizados.

Figura 25
Recuperación en función del tipo de solvente, tamaño 5 mm

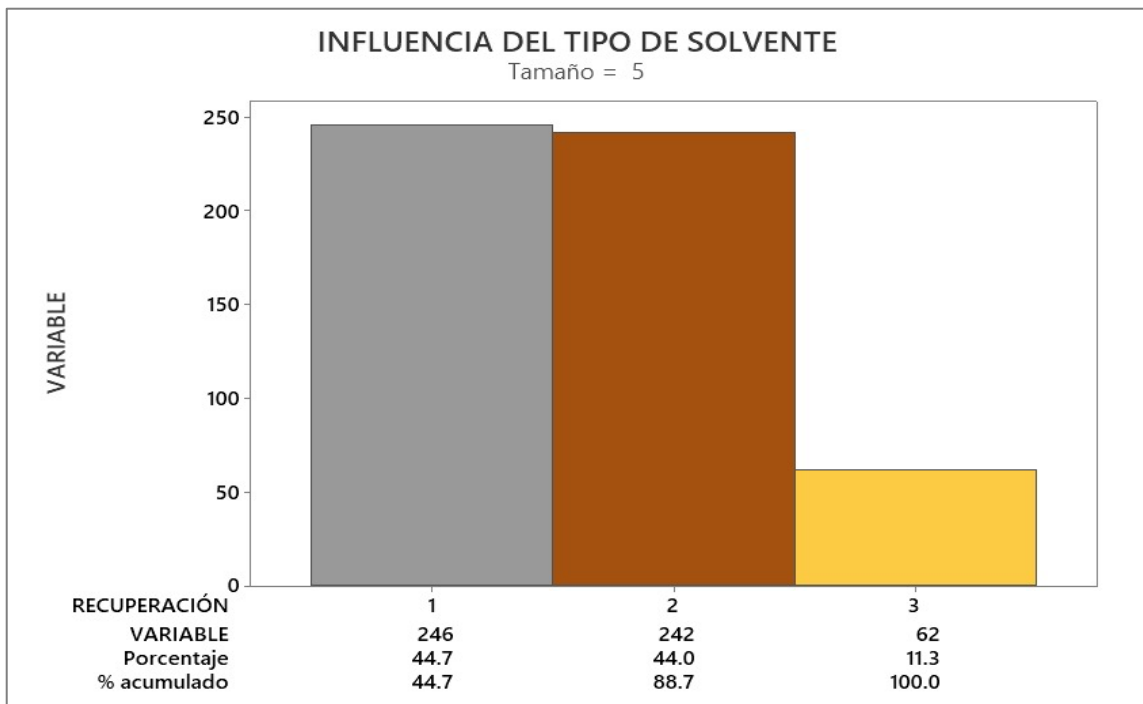


Figura 26
Recuperación en función del tipo de solvente, tamaño 10 mm

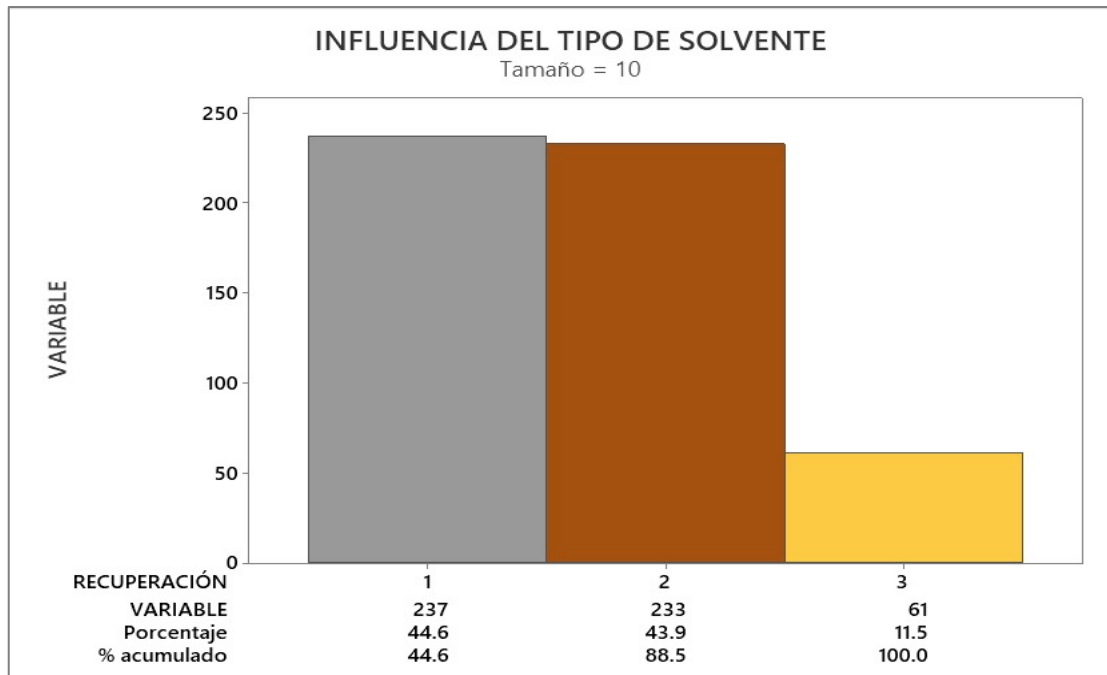
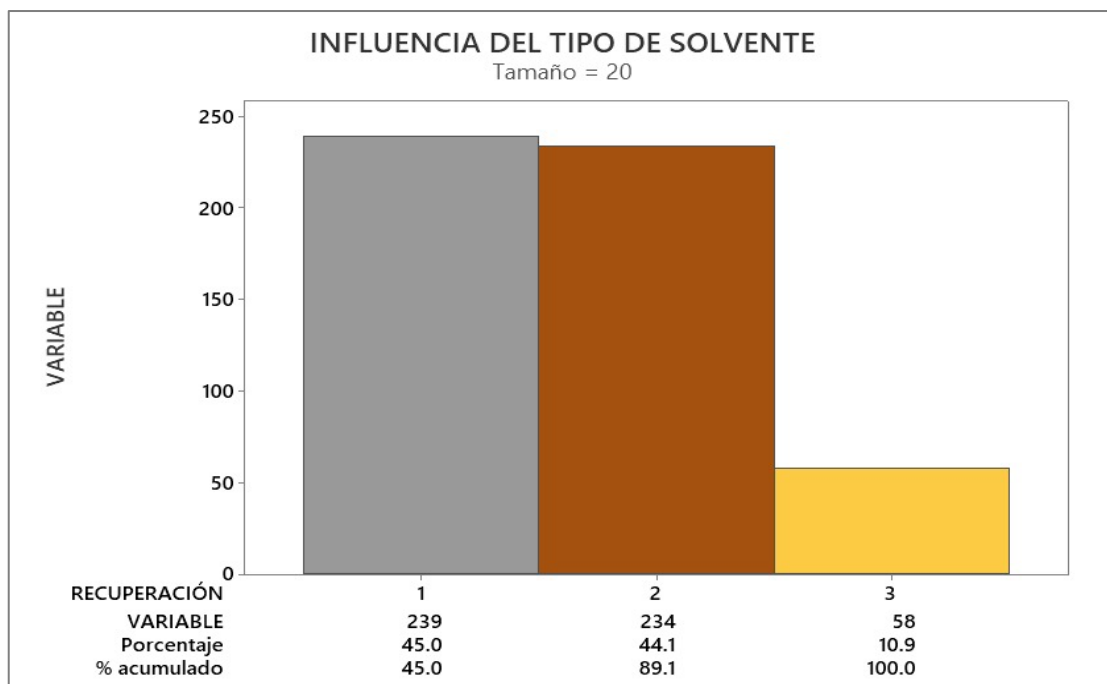


Figura 27
Recuperación en función del tipo de solvente, tamaño 20 mm

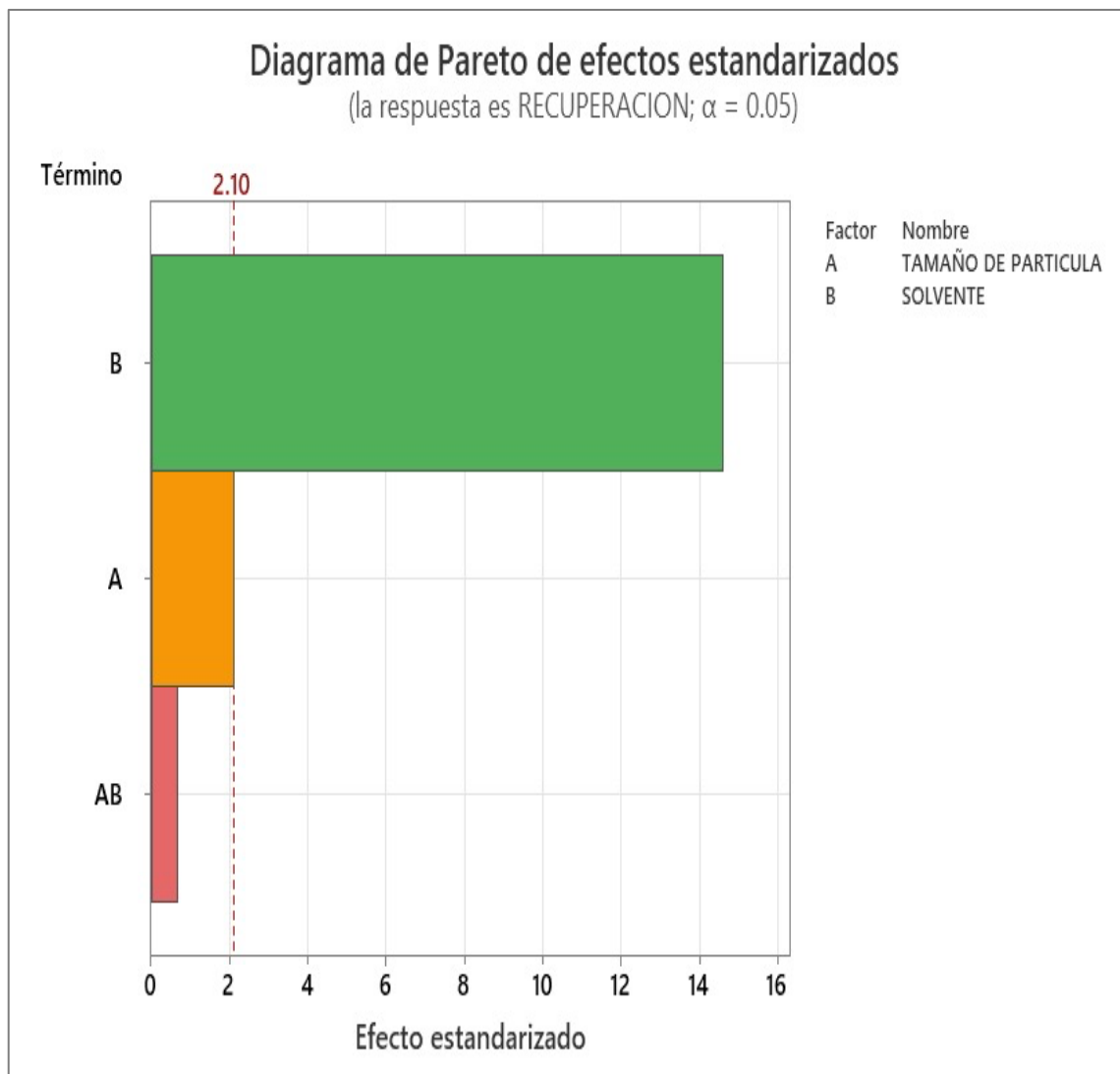


Análisis de efectos mixtos, recuperación en función del tamaño de partícula y tipo de solvente

Con respecto a la hipótesis general: “El tamaño de partícula y tipo de solvente influyen positivamente en una mejor recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados”.

Se puede observar en la **Figura 28** que el efecto interacción tamaño de partícula y tipo de solvente es no significativo. Evidenciándose también el efecto significativo del tipo de solvente (muy evidente) y el efecto no significativo del tamaño de partícula.

Figura 28
Diagrama de Pareto de efectos estandarizados



De la **Figura 21 (Ver pag N° 53)**, resultado del ANOVA se puede observar que el tamaño de partícula es no significativo y el tipo de solvente es significativo en el modelo lineal, el efecto interacción es no significativo. Así mismo el valor de $F = 0,85 > \alpha = 0,05$, por lo que la falta de ajuste no es estadísticamente significativa, lo que significa que el modelo representa a la relación entre la variable respuesta y los predictores.

El R cuadrado ajustado = 99,59%, (valor alto), representa al porcentaje de variación de la variable respuesta que es explicada por su relación con el tamaño de partícula y tipo de solvente.

De acuerdo con el análisis de varianza se tiene las siguientes hipótesis nulas (una para cada factor y también para interacción):

H_{01} : Un menor tamaño de partícula no permite una mejor recuperación de policarbonato y separación de impurezas a partir de discos informáticos usados.

H_{02} : La estructura química del solvente no influencia positivamente en la recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados.

H_{03} : El tamaño de partícula y tipo de solvente ni influyen positivamente en una mejor recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados.

a) Luego de la comparativa de los coeficientes y factores obtenidos en la prueba de ANOVA (valor $F >$ valor P) se rechazan las dos primeras hipótesis nulas, pues hay diferencias significativas entre las variaciones de porcentajes de recuperación con respecto al tipo de solvente y tamaño de partícula de manera independiente.

b) Luego de la comparativa de coeficientes y factores obtenidos en la prueba de ANOVA para el efecto mixto (valor $F <$ valor P) se acepta la tercera hipótesis nula, pues para la interacción conjunta de los dos factores no hay diferencias significativas.

6.1.3. Caracterización del policarbonato

En base a las **Figuras de la 13 a la 18 (Ver pag de la N° 48 a la N° 50)**, se puede observar que contiene las bandas características para cada grupo funcional de la molécula de policarbonato de bisfenol A. Lo cual denota que el

policarbonato obtenido no ha sufrido desnaturalización durante el proceso de recuperación. Observando a detalle la **Figura 13 (Ver pag Nº XX)** se puede observar que contiene todos los picos característicos de los grupos funcionales correspondientes al policarbonato, los cuales se muestran en la tabla 10.

Tabla 10
Comparativa grupos funcionales en espectrogramas

BANDA	LONG. DE ONDA DE PC PATRÓN (cm ⁻¹)	LONG. DE ONDA DE MUESTRA (cm ⁻¹)
Flexión CH en aromáticos	830,34	832,13
Tensión C–O–Ar	1 079,70	1 081,18
Tensión C–O en esteres	1 192,50	1 193,18
	1 161,96	1 161,96
Tensión C–O	1 231,80	1 248,11
Flexión CH en CH ₃	1 366,31	1 365,91
Tensión C=O	1 768,82	1 772,26
Alargamiento CH en CH ₃	2 967,96	2 969,58

Se puede apreciar que los espectrogramas de las muestras analizadas son similares en cuanto a los picos de los grupos funcionales con el espectrograma del patrón del policarbonato, lo cual se sustenta en la similitud de las longitudes de onda de cada pico.

6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Al contrastar los resultados obtenidos en la presente investigación con los antecedentes más relevantes, se observó lo siguiente:

Se cuenta con escasa información acerca de procesos de recuperación de policarbonato a partir de plásticos mediante procesos fisicoquímicos como los empleados en nuestra investigación. Los enfoques de las investigaciones consultadas muestran procedimientos para el proceso de reciclaje o reuso de diferentes plásticos comerciales, sin embargo, hay escasa información y datos cuantitativos acerca de la recuperación de polímeros mediante procesos fisicoquímicos como la extracción solido-líquido y destilación, por ende existen

limitados trabajos investigaciones con valores cuantitativos para la parte operacional y resultados de porcentaje de recuperación con los cuales comparar y hacer una contrastación de eficiencia.

En la investigación de Esteban y Marcela [1] titulada “Recuperación de policarbonato post consumo a partir de discos compactos e incorporación a una formulación de resinas fenol formaldehído”, se desarrolló una alternativa de reciclaje de los discos compactos (CD's) desechados, recuperando su componente principal, el policarbonato (PC), para emplearlo como materia prima en la fabricación de nuevos productos moldeados, e incorporarlo a materiales como los resoles, con el fin de mejorar sus propiedades. Se utilizaron procedimientos físicos y químicos como reducción del tamaño de partícula, dispersión en el solvente, extracción del polímero e incorporación de la dispersión a un resol, obteniendo una recuperación del 89,32%

En contraste con nuestra investigación donde se determinó el grado de influencia en la cual se realizaron pruebas con diferentes solventes orgánicos y tamaños de partícula, realizando en primera instancia un pretratamiento de los discos retirando la capa metálica adherida a ellos para luego realizar una reducción de tamaño de los discos y disolverlos en los solventes seleccionados, posteriormente se realizó una filtración de la disolución resultante, para después, mediante una destilación simple separar al policarbonato del solvente orgánico volátil.

En la investigación de “Reciclaje químico de desechos plásticos” [8] se ha estudiado la despolimerización de tres plásticos comúnmente presentes en desechos domésticos: el poli (tereftalato de etileno), el policarbonato y la poliamida Nylon-6. Para cada tipo de polímero estudiaron las condiciones para su despolimerización y cuantificaron e identificaron el monómero formado utilizando técnicas espectroscópicas. En el caso del policarbonato obtuvieron el bisfenol-A con un rendimiento del 90% Sus resultados obtenidos demuestran que los desechos plásticos son una potencial fuente de materia prima, mas no aprovechan la reutilización directa de la materia prima polimérica.

En contraste con nuestra investigación la recuperación es directamente la del policarbonato, permitiendo obtenerlo como materia prima para diferentes fines

industriales, el hecho de despolimerizarlo para obtener los monómeros y otros subproductos implica mayor gasto de energía y recursos en general, sin embargo, depende del propósito de cada investigación el elegir las sustancias que se busca obtener para definir el proceso por el cual se realizará el reciclaje químico.

En el caso de esta investigación, la variable respuesta, porcentaje de recuperación, se obtuvo al realizar el pesado del policarbonato final luego de la destilación en comparación al peso inicial de las partículas de discos informáticos usadas. Se corroboró la no desnaturalización del policarbonato mediante métodos espectrofotométricos ATR

Se determinó que la mejor combinación solvente/tamaño de partícula para la recuperación del policarbonato fue diclorometano/5 mm, dando un porcentaje de recuperación de hasta 82% en peso.

6.3 Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes

Los autores nos responsabilizamos por la información emitida en el presente informe final de investigación, de acuerdo con el Código de Ética de la investigación de la UNAC, emitido en la resolución de consejo universitario N° 260–2019–CU

CONCLUSIONES

- 1) Se obtuvieron mayores porcentajes de recuperación [82%] usando como solvente el diclorometano al QP y un tamaño de partícula de 5 mm, evidenciando de esta manera que la estructura química de este solvente influencia positivamente en el porcentaje de recuperación del policarbonato a partir de los discos informáticos usados.
- 2) Al realizar las pruebas con diferentes tamaños de partícula no se evidencian diferencias significativas en el porcentaje de recuperación del policarbonato, evidenciando de esta manera que el tamaño de partícula de los discos compactos influencia en menor medida a la recuperación del policarbonato en comparativa con el factor tipo de solvente.
- 3) De los tres solventes utilizados, el diclorometano QP (82%) fue el que proporcionó mayor porcentaje de recuperación de policarbonato comparado con el cloroformo QP (80,7) y el fenol al 10% (21%)

RECOMENDACIONES

- 1) Realizar estudios variando la concentración de diclorometano para conocer y optimizar el efecto de la concentración de este solvente sobre el grado de recuperación de policarbonato.
- 2) Realizar estudios variando temperatura y velocidad de agitación con lo cual se podría optimizar tiempos de solubilización y eficiencia en la extracción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. ESTEBAN, Carolina. & FRANCO, Bibiana. 2006. Recuperación de policarbonato post consumo a partir de discos compactos e incorporación a una formulación de resinas fenol formaldehido. [En línea]. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. [Consulta: junio 2019]. Disponible en: <https://docplayer.es/8353824-Recuperacion-de-policarbonato-post-consumo-a-partir-de-discos-compactos-e-incorporacion-a-una-formulacion-de-resinas-fenol-formaldehido.html>
- [2]. MONCAYO, Alyson y VÁZQUEZ, Vanessa. 2018. Estudio de la recuperación de metales en discos compactos mediante procesos fisicoquímicos para su reutilización. En: Bibdigital [En línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19864> [Consulta: octubre 2023].
- [3]. FERNÁNDEZ BARROSO, Janire. 2014. Diseño de un molde de inyección de una pieza plástica. [En línea]. Trabajo fin de grado. Lugar de publicación: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao. [Consulta: junio 2019]. Disponible en: <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/13373/2%20MEMORIA.pdf?sequence=19>
- [4]. GIOVANELLA, Javier. et al. Reciclaje de materiales: estudio de las propiedades mecánicas de los discos compactos de policarbonato reciclado. Feature (Rio J.) [En línea]. 2008, vol.13, no.4 [Consulta: junio 2019], pp.643-649. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762008000400010&lng=en&nrm=iso. ISSN 1517-7076. <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-70762008000400010>
- [5]. MEDINA Jhonny; ROCHE Yenifer; Maldonado Omar; Hernández Juan Carlos; Zapata Carlos. Degradación hidrolítica y biodegradación de mezclas binarias de ácido poliláctico (PLA) con residuos plásticos. Revista

- INGENIERÍA UC, vol. 25, núm. 2, 2018. Universidad de Carabobo, Venezuela, [Consulta: junio 2019].
 Disponible en: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1517-70762008000400010&script=sci_abstract&tlng=pt>
- [6]. ORTIZ RODRIGUEZ, Bruno Alonso. 2012. *Recuperación de bisfenol-A a partir de policarbonato* [En línea]. Tesis de licenciatura. Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. [Consulta: octubre 2023].
 Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/200988098.pdf>
- [7]. JALLASI INCA, Ayde. CCAHUANA HUAYTA, Pamela Irma. 2017. *Aplicación de métodos de caracterización de residuos poliméricos re aprovechables del distrito de La Joya* [En línea]. Título profesional. Arequipa, Perú. Universidad Nacional de San Agustín. [Consulta: octubre 2023].
 Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/124b36f4-4019-462e-b8b2-fba4cb7229ff/content>
- [8]. ELGEGREN Mariela, TIRAVANTI Giulliana, ORTIZ Bruno, OTERO Manuel, WAGNER Florián, CERRÓN Daniel, NAKAMATSU Javier. RECICLAJE QUÍMICO DE DESECHOS PLÁSTICOS. Revista de la Sociedad Química del Perú [en línea] 2012, 78 (abril-junio). [Consulta: 29 de junio de 2019]. ISSN 1810-634X.
 Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371937627005>>
- [9]. BILLMEYER, Fred. Ciencia de los polímeros. New York: Editorial Reverte, 1987. 201 pp. ISBN: 9788429170481.
- [10]. RIVERA CHIPANA, Luis Alberto Bernardo. 2020. Niveles de conocimientos sobre la contaminación por plásticos y la actitud ambiental de los estudiantes de ingeniería en la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, 2019 [En línea]. Tesis doctoral. Tacna, Perú. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. [Consulta: junio de 2019].
 Disponible en: http://tesis.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/4105/90_2020_rivera_

chipana_lab_espg_doctorado_en_ciencias_ambientales.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- [11]. KATIME, Daniel, KATIME, Oscar, KATIME, Issa. Introducción a la ciencia de los materiales plásticos: Síntesis y caracterización. Bilbao: Editorial de la Universidad del País Vasco, 2010. 69 pp. ISBN: 9788498603569. Disponible en: <https://worldcat.org/es/title/1105268657>
- [12]. TAREK M. Madkour. Polymer Data Handbook [En línea]. Estados Unidos: Universidad de Cincinnati, 1999. [Consulta: 14 mayo 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/228442287/attachment/59d64087c49f478072eaa531/AS%3A273788690731026%401442287718284/download/polymer_data_handbook.pdf
- [13]. MANUAL para la identificación de plásticos [en línea]. México D.F.: INSTITUTO MEXICANO DE PLÁSTICO INDUSTRIAL, 1997. [Fecha de consulta: 27 de junio de 2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/209143276/MANUAL-DE-IDENTIFICACION-DE-PLASTICOS-pdf>
- [14]. CADENA Francisco y QUIROZ Francisco. Manual de reciclaje de plásticos. Quito: Corporación Oikos, 2000. 36 pp. ISBN: 9978415076.
- [15]. BALART Rafael, 2003. *Técnicas experimentales de análisis térmico de polímeros*. 1ª ed. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 8788497055864.
- [16]. CASTELLÓ GOMEZ, María Luisa. BARRERA PUIGDOLLERS, María Luisa. PÉREZ ESTEVE, Edgar. BETORET VALLS, Noelia. 2017. "Reducción de tamaño de partícula y tamizado de partículas". En: Repositorio Institucional UPV [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/82132> [consulta: octubre 2023]
- [17]. DUNNE M. Corrigan I. Ramtoola Z. 2000. Influence of particle size and dissolution conditions on the degradation properties of polylactide-co-glycolide particles. *Biomaterials* [En línea]. Dublín, Irlanda. Volumen 21, número 16, pág. 1659 – 1668. [consulta: octubre 2023]. ISSN 0142-9612.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142961200000405?via%3Dihub>

- [18]. RODRIGUEZ, Ellen y VILLEGAS, Ernesto, 2012. Caracterización de polímeros aplicando el método termogravimétrico. *Métodos y materiales* [En línea]. Costa Rica: Repositorio institucional de la Universidad de Costa Rica, volumen 2, número 1, pp. 25 – 32. [Consulta: mayo del 2023]. ISSN 2215-4558.

Disponible en: <https://doi.org/10.15517/mym.v2i1.13470>

- [19]. SANCHEZ, Laura. 2013. *Síntesis y caracterización de copolicarbonatos de Bisfenol A y Gludioxol* [En línea]. Trabajo fin de máster. España. Universidad Politécnica de Catalunya Barcelonatech. [Consulta: mayo del 2023].

Disponible en: <http://hdl.handle.net/2099.1/19843>

- [20]. GUTIERREZ, Cb, et al. Una aproximación práctica para el diseño de un proceso de reciclado de polímeros mediante disolución. *Afinidad*, 2011, vol. 68, no 553.

Disponible en: <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/268089>

[Consulta: enero del 2024]

- [21]. RIVERA TAVARA, Raul. 2004. *Propuesta de reciclaje mecánico de plásticos en la ciudad de Piura* [En línea]. Tesis para título profesional. Piura, Perú: Universidad de Piura. [Consulta: mayo 2023].

Disponible en: <https://n9.cl/9iknj>

- [22]. PURIFICACIÓN MOSCOSO, Jamila Nouar. 1990. Introducción al CD-ROM su tecnología y aplicaciones bibliotecarias. *Boletín de la ANABAD* [En línea]. España. Confederación de Asociaciones de Archiveros, Bibliotecarios, Museólogos y Documentalistas, ANABAD, Tomo 40, N° 2 – 3, pp. 95 – 112. ISSN 2444-7293.

Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=969134>

- [23]. MAGRUGA, E. L. 1995. Que es un polímero. *Revista de plásticos modernos* [En línea]. España. Edición 466, pp. 319-324. [Consulta: mayo 2023]. ISSN 0034-8708.

- Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=2271>
- [24]. TRIANA CRUZ, Lizbeth, 2023. Espectroscopía de infrarrojo/ATR. En: *Cciqs* [En línea].
Disponible en:
http://www.cciqs.unam.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=113&Itemid=86
[consulta: agosto 2023].
- [25]. VÉLEZ Víctor y MOSQUERA Billy. Reciclaje de plásticos. Tesis de investigación (Ingeniería Química). Guayaquil: Universidad de Guayaquil, 2012.
Disponible en:
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/5136/1/T207.pdf>
- [26]. VELANDÍA Javier, 2017. Identificación de polímeros por espectroscopía infrarroja. *Revista Ontare* [en línea]. Colombia: Editorial Ontare, no. 5, pp.115-140 [consulta: agosto de 2022]. DOI <https://doi.org/10.21158/23823399.v5.n0.2017.2005>.
Disponible en:
<https://journal.universidadean.edu.co/index.php/Revistao/article/view/200>
- [27]. CASTELLO GOMEZ, Maria Luisa, FITO SUÑER, Pedro José, SEGUI GIL, Lucía, 2020. Fundamentos de la extracción sólido-líquido. En: *Universidad politécnica de Valencia* [En línea].
Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/147097>
[consulta: enero 2023].
- [28]. FERNANDEZ ZARZA, Laura, 2023. ¿Qué es la destilación y para qué sirve? En: *iagua* [En línea].
Disponible en: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-destilacion-y-que-sirve>
[consulta: Julio 2023].
- [29]. IMPI, 1997. Enciclopedia del plástico. En: *Dokumen* [En línea].
Disponible en: <https://dokumen.tips/documents/libro-plasticospdf.html?page=1>
[consulta: agosto 2023].

ANEXOS

Anexo 1

Influencia del tamaño de partícula y tipo de solvente para la recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados
Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODOS
GENERAL	GENERAL	GENERAL	DEPENDIENTE	DEPENDIENTE	DEPENDIENTE	DEPENDIENTE
¿Cuál es la influencia del tamaño de partícula y tipo de solvente para la recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados?	Determinar la influencia del tamaño de partícula y tipo de solvente para la recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados.	El tamaño de partícula y tipo de solvente influyen positivamente en una mejor recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados.	Y= Recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados.	Características químicas	Reactividad	Reacción de color con P-dimetil-aminobezaldehído
				Eficiencia	Calidad	Espectroscopía Infrarroja
					% de recuperación	Diferencia de peso
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	INDEPENDIENTES	INDEPENDIENTES	INDEPENDIENTES	INDEPENDIENTES
¿Cuál es el tamaño de partícula adecuado para la recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados?	Determinar el tamaño de partícula adecuado para la recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados	Un menor tamaño de partícula permite una mejor recuperación de policarbonato y separación de impurezas a partir de discos informáticos usados.	X1 = Tamaño de partícula de discos informáticos usados	Granulometría	Micrómetros	Tamizado
				Composición	% en peso	Espectroscopía Infrarroja
				Características	Color, brillo	Observación
¿Cuáles es el tipo de solvente adecuado para la recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados?	Determinar el tipo de solvente adecuado para la recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados	La estructura química del solvente influencia positivamente en la recuperación de policarbonato a partir de discos informáticos usados.	X2 = Tipo de solvente	Grado de solubilidad	gr/mL	Diferencia de peso
				Composición	% en volumen	Destilación simple
				Características	Temperatura de ebullición, grado de volatilización	Destilación simple

Anexo 2

Porcentaje de recuperación de PC – Primera corrida experimental

PRIMERA CORRIDA EXPERIMENTAL				
ITEM	SOLVENTE	TAMAÑO PARTICULA (mm)	RESULT. PESO (g)	RESULT. PORCENTAJE (%)
1	Diclorometano (40°C) 93%	5	2,52	84,00
2		10	2,40	80,00
3		20	2,31	77,00
4	Cloroformo (61°C) 90%	5	2,46	82,00
5		10	2,40	80,00
6		20	2,25	75,00
7	Fenol al 10% (182°C*)	5	0,60	20,00
8		10	0,66	22,00
9		20	0,60	20,00

Anexo 3

Porcentaje de recuperación de PC - Segunda corrida experimental

SEGUNDA CORRIDA EXPERIMENTAL				
ITEM	SOLVENTE	TAMAÑO PARTICULA (mm)	RESULT. PESO (g)	RESULT. PORCENTAJE (%)
1	Diclorometano (40°C)	5	2.46	82,00
2		10	2.34	78,00
3		20	2.46	82,00
4	Cloroformo (61°C)	5	2.43	81,00
5		10	2.34	78,00
6		20	2.40	80,00
7	Fenol al 10% (182°C*)	5	0.66	22,00
8		10	0.63	21,00
9		20	0.54	18,00

Anexo 4

Porcentaje de recuperación de PC-Tercera corrida experimental

TERCERA CORRIDA EXPERIMENTAL				
ITEM	SOLVENTE	TAMAÑO PARTICULA (mm)	RESULT. PESO (g)	RESULT. PORCENTAJE (%)
1	Diclorometano (40°C)	5	2,40	80,00
2		10	2,37	79,00
3		20	2,40	80,00
4	Cloroformo (61°C)	5	2,37	79,00
5		10	2,25	75,00
6		20	2,37	79,00
7	Fenol al 10% (182°C*)	5	0,60	20,00
8		10	0,60	20,00
9		20	0,61	20,33

Anexo 5

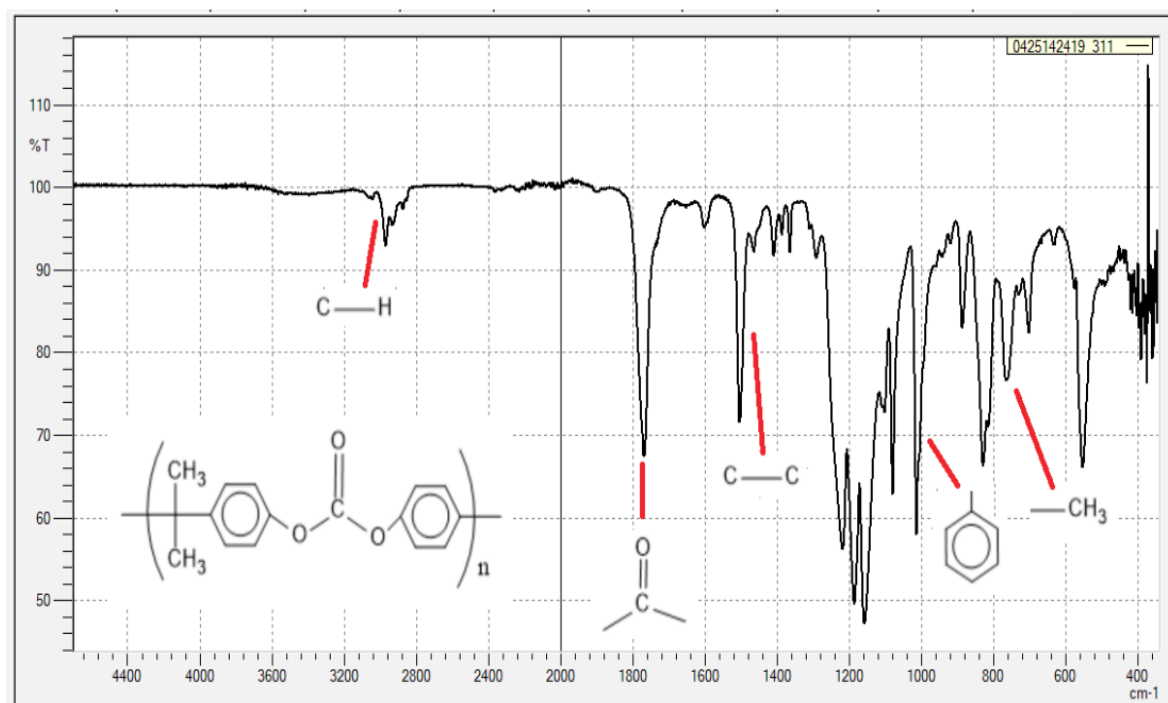
Compilado de todas las corridas experimentales

COPILO DE CORRIDAS EXPERIMENTALES					
ITEM	SOLVENTE	TAMAÑO PARTICULA (mm)	N° CORRIDA	PESO (g)	RESULTADO PORCENTAJE (%)
1	Diclorometano (40°C)	5	1	2,52	84,00
2		10	1	2,40	80,00
3		20	1	2,31	77,00
4		5	2	2,46	82,00
5		10	2	2,34	78,00
6		20	2	2,46	82,00
7		5	3	2,40	80,00
8		10	3	2,37	79,00
9		20	3	2,40	80,00
10	Cloroformo (61°C)	5	1	2,46	82,00
11		10	1	2,40	80,00
12		20	1	2,25	75,00
13		5	2	2,43	81,00
14		10	2	2,34	78,00
15		20	2	2,40	80,00
16		5	3	2,37	79,00

COPIADO DE CORRIDAS EXPERIMENTALES					
ITEM	SOLVENTE	TAMAÑO PARTICULA (mm)	N° CORRIDA	RESULTADO	
				PESO (g)	PORCENTAJE (%)
17	Fenol al 10% (182°C*)	10	3	2,40	80,00
18		20	3	2,37	79,00
19		5	1	0,60	20,00
20		10	1	0,66	22,00
21		20	1	0,60	20,00
22		5	2	0,66	22,00
23		10	2	0,63	21,00
24		20	2	0,54	18,00
25		5	3	0,60	20,00
26		10	3	0,60	20,00
27		20	3	0,61	20,33

Anexo 6

Análisis del espectro de PC



Velandia (2017)

Anexo 7

Fichas técnicas del CD Y DVD

FICHA TÉCNICA

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Características generales del bien

Denominación del Bien	: DISCO COMPACTO GRABABLE
Denominación técnica	: DISCO COMPACTO GRABABLE
Grupo/clase/familia/ítem	: Telecomunicaciones, radiodifusión y tecnología de la información/Compo de radio fusión o telecomunicaciones o tecnologías de información /Dispc de almacenamiento de información/Disco compacto o CD de lectura y es
Nombre del Bien en el catálogo	: CD GRABABLE DE 700 MB
Código	: 4320180900071928
Unidades de medida	: Centena/Millar
Anexos adjuntos	: No
Descripción general	: CD-R 700 MB/80 Min.

Características generales de la Ficha

Versión	: 1
Estado	: Aprobada

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Tipo: CD-R
Capacidad: 700 MB/80 min.
Compatibilidad de escritura: Con unidades CD-R
Compatibilidad de lectura: Con unidades CD-R, CD-RW, CD-ROM
Velocidad de Lectura: 1x a 52x
Grabables: Grabable
Tamaño: Standard
Material de sustrato: Policarbonato
Grabación: Multisesión.
Protección: Ultravioleta

OTRAS CARACTERÍSTICAS

-Cono de 25 o más discos (según presentación del proveedor).

Para el llenado de esta ficha, se ha utilizado el nombre de la lista de bienes: DISCO COMPACTO GRABABLE (CD)

Propiedad/fuente: <https://princo.com/>

FICHA TÉCNICA

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Características generales del bien

Denominación del Bien	: DISCO VERSATIL DIGITAL GRABABLE DVD-R
Denominación técnica	: DISCO VERSATIL DIGITAL GRABABLE DVD-R
Grupo/clase/familia/ítem	: Telecomunicaciones, radiodifusión y tecnología de la información/Componentes de radio fusión o telecomunicaciones o tecnologías de información /Dispositivos de almacenamiento de información/Disco versátil digital o DVD de sólo lectura
Nombre del Bien en el catálogo	: DISCO VERSATIL DIGITAL GRABABLE DVD-R
Código	: 4320181000129843
Unidades de medida	: Unidad / Centena / Millar
Anexos adjuntos	:
Descripción general	: DVD - R 4.7 GB

Características generales de la Ficha

Versión	: 1
Estado	: Aprobada

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Tipo: DVD-R
- Capacidad: Hasta 4.7 GB
- Compatibilidad de escritura: Con unidades de grabación DVD-R/RW
- Compatibilidad de lectura: Con unidades de lectura DVD-ROM y DVD video
- Velocidad de Grabación: Hasta 8x
- Grabables: Grabable
- Tamaño: Standard
- Material de sustrato: Policarbonato

Presentación:

- La presentación puede ser en paquetes o conos, debiendo mantener la especificación anterior.

Para el llenado de esta ficha, se ha utilizado el nombre de la lista de bienes: DISCO VERSATIL DIGITAL (DVD)

Propiedad/fuente: <https://princo.com/>