



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICAS Y AMBIENTALES

“Estudio de una metodología de separación de los componentes de los residuos provenientes de la manufactura de envases blíster en la industria farmacéutica y posterior síntesis de alumbre de potasio a partir del aluminio recuperado”

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

Presentado por:

BRUNO LUIGI CARLO BORRO

GUAYAQUIL - ECUADOR

2013

AGRADECIMIENTOS

La culminación de este trabajo no habría sido posible sin los recursos aportados por Kronos Laboratorios Cia. Ltda., la formación académica recibida en mis años de estudio en la ESPOL.

DEDICATORIA

A mis ancestros, familia y amigos.

“The chances of one single ancestor of yours not dying while growing up is one in several billion...Your life on this planet has been threatened by insects, wild animals, meteorites, lightning, sickness, war, floods, fires, poisoning, and attempted murders...I don't think the world is a coincidence...if the world is a magic trick, then there must be a great magician, too...even though He didn't leave his calling card behind, He did leave the world. I think that's fair enough”

Jostein Gaarder, “The Solitaire Mystery”

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ph.D David Matamoros

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Jenny Venegas Gallo

DIRECTORA DE TESIS



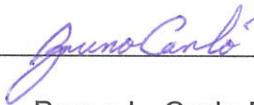
Ph.D Ma. De Lourdes Mendoza

VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Bruno L. Carlo Borro

RESUMEN

El blíster es un envase utilizado en la industria farmacéutica para contener tabletas y cápsulas. Al final del envasado de estas formas farmacéuticas, se genera un desecho de entre 2 y 12 % del material utilizado por lote. Los desechos de blíster podrían ser reciclados con el fin de reducir el impacto ambiental de las actividades de la industria farmacéutica. Al ser el blíster una combinación de distintos materiales, su reciclaje se dificulta porque los materiales combinados siempre son más difíciles de reciclar. Dos de los componentes principales del blíster, aluminio y policloruro de vinilo (PVC), pueden ser reciclados por separado pero para poder hacerlo sería necesario someterlos a un proceso de separación.

En este trabajo se separaron los componentes de los envases de muestras tomadas de los desechos de una industria farmacéutica y a partir del aluminio recuperado, se sintetizó alumbre de potasio. Se trabajó con muestras con dos tipos de PVC: uno rígido y otro flexible. Para la separación de los componentes se disolvieron las muestras en una solución de hidróxido de potasio. Las soluciones obtenidas fueron analizadas por espectrofotometría para determinar el contenido de aluminio disuelto en ellas. El PVC suspendido en las soluciones fue separado por medio de filtración.

A partir de la solución obtenida de la disolución de los desechos de blíster, se sintetizó alumbre de potasio agregando como agente precipitante una solución de ácido sulfúrico 9 M. En estos ensayos se calentaba la solución obtenida de la disolución de los desechos de blíster hasta 80 °C, utilizando una plancha de calentamiento, y se agregaba lentamente el reactivo mencionado.

En los ensayos de disolución de los desechos de blíster también se registraron los incrementos de temperatura versus tiempo. Se observó que en los ensayos realizados con blíster de PVC flexible, el tiempo en que se alcanzó la temperatura máxima fue menor que en los ensayos realizados con el otro grupo de muestras. Además, las temperaturas alcanzadas fueron mayores a las del grupo del PVC rígido.

El porcentaje de recuperación de PVC fue aproximadamente de 90 %. Este valor se determinó considerando que en teoría el 85% del envase blíster está compuesto por PVC. No hubo diferencia significativa entre el porcentaje de recuperación de PVC para los distintos grupos de ensayos.

Respecto al alumbre de potasio obtenido, los porcentajes de rendimientos estuvieron entre 85.47 y 94.61 % para el grupo del PVC rígido; y, entre 90.20 y

93.62%, para el grupo del PVC flexible. Se realizaron ensayos de caracterización al alumbre de potasio obtenido con muestras seleccionadas de manera aleatoria. Los parámetros considerados para la caracterización fueron: potencial de hidrógeno (pH), grado de pureza y cloruros.

El grado de pureza del alumbre de potasio de las muestras que se obtuvieron a partir del grupo del PVC rígido fue 92.44 %, en promedio; para las del grupo del PVC flexible, 93.63 %. El ensayo de cloruros fue positivo para ambos grupos, lo cual indica la presencia de iones cloruros en este compuesto. Respecto al pH, en las muestras de alumbre del grupo del PVC rígido fue 3.77; el de las del grupo del PVC flexible, 3.95.

El costo de los reactivos y materiales requeridos para sintetizar un kilogramo de alumbre de potasio por el método trabajado varía dependiendo del tipo de PVC utilizado. Si se trabaja con desechos de blíster con PVC rígido, el costo sería \$38.82 y se obtendría una ganancia de \$16,75. Si se trabaja con desechos de blíster con PVC flexible, el costo sería \$29.47 y se obtendría una ganancia de \$25.18; vendiendo el kilogramo de alumbre a \$50.18. A estos costos, habría que agregar los costos operacionales.

ABREVIATURAS

DOP	(D-n-octilftalato)
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético
VCM	Cloruro de Vinilo
Cia. Ltda.	Compañía Limitada
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
CAI	Concentración de Aluminio
EDC	Dicloruro de Etileno
GL	Grados de Libertad
INCOP	Instituto de Contratación Pública del Ecuador
LE	Laboratorio de Ensayos
mC	Masa de Cristales
mPVC	Masa de PVC
meAl	Masa Experimental de Aluminio
mRAI	Masa Real de Aluminio
mrPVC	Masa Recuperada de PVC
mtC	Masa Teórica de Cristales
MC	Media Cuadrada
nH ₂	Moles de Hidrógeno
OAE	Organismo de Acreditación Ecuatoriano

PVC	Policloruro de Vinilo
PVCB	Policloruro de Vinilo Blanco
PVCT	Policloruro de Vinilo Transparente
PCDD	Policlorurodibenzodioxina
PCDF	Policlorurodibenzofurano
pAl	Porcentaje de Aluminio
prPVC	Porcentaje de Recuperación de PVC
rC	Rendimiento de Síntesis de Cristales
SC	Suma de Cuadrados
Tmax	Temperatura Máxima
t	Tiempo
USP	United States Pharmacopeia
VH ₂	Volumen de Hidrógeno
V	Volumen de la Muestra

SIMBOLOGÍA

HCl	Ácido Clorhídrico
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
H ₂ O	Agua
KAl(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	Alumbre de Potasio
Al	Aluminio
atm	Atmósferas
R	Constante Universal de los Gases
ρ	Densidad
SO ₂	Dióxido de azufre
CO ₂	Dióxido de Carbono
\$	Dólares
HF	Fluoruro de Hidrógeno
H	Grado de Pureza
°C	Grados Centígrados
K	Grados Kelvin
g	Gramo
g/mol	Gramos por Mol
H ₂	Hidrógeno Molecular
Al(OH) ₃	Hidróxido de Aluminio

KOH	Hidróxido de Potasio
NaOH	Hidróxido de Potasio
KAl(OH) ₄	Hidróxido de Potasio y Aluminio
(Al(OH) ₄) ⁻	Ión Aluminato
Al ³⁺	Ión Aluminio
NH ₄ ⁺	Ión Amonio
Cr ³⁺	Ión Cromo
Fe ³⁺	Ión Hierro
OH ⁻	Ión Oxidrilo
K ⁺	Ión Potasio
Na ⁺	Ión Sodio
kg	Kilogramo
L	Litro
m/v	Masa por Volumen
>	Mayor que
μ	Media Estadística
<	Menor que
μm	Micrómetro
mg/L	Miligramos por Litro
mL	Mililitro

mm	Milímetro
m:s	Minutos y Segundos
mol	Mol
M	Molar
nm	Nanómetro
AgNO ₃	Nitrato de Plata
α	Nivel de Significancia para Tukey
N	Normalidad
N°	Número
ppm	Partes por millón
Pb	Plomo
%	Porcentaje
pH	Potencial de Hidrógeno
Al ₂ (SO ₄) ₃	Sulfato de Aluminio
K ₂ SO ₄	Sulfato de Potasio
Ton	Tonelada
F α	Valor crítico para Tukey
F	Valor de la Razón entre Medias para Tukey
W	Watts

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN VI	
ABREVIATURAS	IX
SIMBOLOGÍA	XI
ÍNDICE GENERAL.....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVII
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XX
INTRODUCCIÓN	XXI
CAPÍTULO 1	1
1 INFORMACIÓN GENERAL	2
1.1 Antecedentes	2
1.1.1 Definición del envase farmacéutico blíster	2
1.1.2 Historia del envase farmacéutico blíster	3
1.1.3 Desechos de blíster	4
1.2 Objetivos	5
1.2.1 Objetivo general	5
1.2.2 Objetivos específicos	5
1.3 Hipótesis	6
1.4 Alcance de la tesis	6
CAPÍTULO 2	8
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA	9
2.1 Componentes del blíster	9
2.1.1 El molde	9
2.1.2 El material de sellado	10
2.2 Diagnóstico del impacto ambiental de residuos blíster en Ecuador	11
2.2.1 Aspectos e impactos ambientales de los componentes del blíster	11
2.2.1.1 Aluminio	11
2.2.1.2 PVC.....	13
2.2.2 Disposición final de los desechos sólidos en Ecuador	16
2.2.2.1 Generalidades.....	16
2.2.2.2 La situación en Guayaquil	16
2.2.2.3 Los desechos de blíster	18
2.3 Separación de los componentes de blíster	21
2.4 Alumbre.....	22
2.5 Principios de cristalización	24
CAPÍTULO 3	26

3 METODOLOGÍA	27
3.1 Población analizada y tamaño de muestra seleccionada.....	27
3.2 Preparación de las muestras	30
3.3 Proceso de separación del aluminio del residuo de blíster y recuperación del PVC.....	31
3.4 Proceso de medición del contenido de aluminio disuelto en la solución obtenida.....	35
3.5 Proceso de síntesis del alumbre de potasio.....	38
3.6 Proceso de evaluación de las características del alumbre de potasio	42
3.6.1 Limpidez y grado de coloración.....	42
3.6.2 pH.....	43
3.6.3 Grado de pureza	44
3.6.4 Cloruros	47
CAPÍTULO 4	49
4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	50
4.1 Contenido de aluminio disuelto en las soluciones.....	50
4.2 Eficiencia de disolución del aluminio en la solución seleccionada	54
4.3 Características del PVC recuperado	58
4.4 Rendimiento de la síntesis del alumbre de potasio obtenido	65
4.5 Características del alumbre de potasio sintetizado	68
4.5.1 Aspecto de la solución	68
4.5.2 Identificación por potencial de hidrógeno	68
4.5.3 Grado de pureza	71
4.5.4 Presencia de cloruros	73
4.6 Análisis económico	74
CAPÍTULO 5	77
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
5.1 Conclusiones.....	78
5.2 Recomendaciones	81
ANEXOS.....	83
ANEXO A... ..	84
A.1. Preparación de reactivos para las mediciones de aluminio disuelto en las soluciones obtenidas.....	84
A.2. Preparación de reactivos para los ensayos de grado de pureza	86
A.3. Preparación de reactivos para el ensayo de identificación de cloruros	88
ANEXO B... ..	89
B.1. Curva de calibración para los ensayos en el espectrofotómetro.....	89
ANEXO C... ..	90
C.1 Datos de tiempo y temperatura recolectados durante la disolución de las muestras de blíster de PVCT.	90

C.2 Datos de tiempo y temperatura recolectados durante la disolución de las muestras de blíster de PVCB.....	96
ANEXO D.....	103
D.1 Representaciones gráficas de los datos presentados en el Anexo C.1. Fuente: Microsoft Excel.....	103
D.2 Representaciones gráficas de los datos presentados en el Anexo C.2. Fuente: Microsoft Excel.....	111
BIBLIOGRAFÍA.....	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Ristra de blíster.....	3
Figura 2.1.- Blíster con el corte de las ristas.....	19
Figura 3.1.- Diagrama de flujo.....	29
Figura 3.2.- Blíster triturado.	30
Figura 3.3.- Sistema de disolución de los desechos de blíster	33
Figura 3.4.- Solución obtenida de la disolución de los desechos de blíster.	35
Figura 3.5.- Espectrofotómetro	37
Figura 3.6.- Sistema de precipitación para el alumbre de potasio.	39
Figura 3.7.- Solución en baño de hielo.	40
Figura 3.8.- Sistema de filtración al vacío.	41
Figura 3.9.- Alumbre de potasio, filtrado y secado.....	41
Figura 3.10.- Soluciones de la sustancia en análisis, una vez colocado el indicador.....	46
Figura 4.1.- Diagrama de cajas para el CAI (mg/L).....	53
Figura 4.2.- Diagrama de cajas de los tiempos en que se alcanzó la temperatura máxima durante los ensayos de disolución.	56
Figura 4.3.- Diagrama de cajas de los tiempos en que se alcanzó la temperatura máxima durante los ensayos de disolución.	57
Figura 4.4.a.- PVCT recuperado.	59
Figura 4.4.b.- PVCT recuperado	59
Figura 4.4.c.- PVCT recuperado.	60
Figura 4.5.a.- PVCB recuperado.....	61
Figura 4.5.b.- PVCB recuperado.....	61
Figura 4.6.- Diagrama de cajas para el prPVC (%).	64
Figura 4.7.- Diagrama de cajas rendimiento de síntesis de alumbre de potasio.	67
Figura 4.8.- Diagrama de cajas para los datos de pH.....	70
Figura 4.9.- Diagrama de cajas para volumetría	72
Figura 4.10.- Ensayo para la presencia de cloruros.	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.-	Masas de las muestras de blíster con PVCT.....	31
Tabla II.-	Masas de las muestras de blíster con PVCB.....	31
Tabla III.-	Concentración de aluminio en las disoluciones de PVCT para el espectrofotómetro.....	50
Tabla IV.-	Concentración de aluminio en las disoluciones de PVCB para el espectrofotómetro.....	51
Tabla V.-	Concentración de aluminio en las soluciones de los ensayos de disolución de blíster con PVCT.....	52
Tabla VI.-	Concentración de aluminio en las soluciones de los ensayos de disolución de blíster con PVCB.....	52
Tabla VII.-	Resumen de estadísticos descriptivos para CAI_i (mg/L).....	53
Tabla VIII.-	Temperaturas máximas registradas, y sus tiempos, durante la disolución de blíster con PVCT.....	54
Tabla IX.-	Temperaturas máximas registradas, y sus tiempos durante la disolución de blíster con PVCB.....	55
Tabla X.-	Resumen de estadísticos descriptivos para t y T_{max}	55
Tabla XI.-	Datos de recuperación del PVCT.....	62
Tabla XII.-	Datos de recuperación del PVCB.....	63
Tabla XIII.-	Resumen de estadísticos descriptivos para $prPVC(\%)$	63
Tabla XIV.-	Intervalos de confianza de Tukey para los datos de $prPVC$ del grupo del PVCB restados de los del PVCT.....	64
Tabla XV.-	Datos de síntesis de alumbre PVCT.....	66
Tabla XVI.-	Datos de síntesis de alumbre PVCB.....	66
Tabla XVII.-	Resumen de estadísticos descriptivos para $rC(\%)$	67
Tabla XVIII.-	Intervalos de confianza de Tukey para los datos de rC del grupo del PVCB restados de los del PVCT.....	68
Tabla XIX.-	Valores de pH para el grupo de PVCT.....	69
Tabla XX.-	Valores de pH para el grupo de PVCB.....	69
Tabla XXI.-	Resumen de estadísticos descriptivos para pH.....	69
Tabla XXII.-	Intervalos de confianza de Tukey para los datos de pH del grupo del PVCB restados de los del PVCT.....	70
Tabla XXIII.-	Datos de volumetría para las muestras de PVCT.....	71
Tabla XXIV.-	Datos de volumetría para las muestras de PVCB.....	71
Tabla XXV.-	Resumen de estadísticos descriptivos para H	72
Tabla XXVI.-	Intervalos de confianza de Tukey para los datos de volumetría del grupo del PVCB restados de los del PVCT.....	73

Tabla XXVII.- Cantidad de materiales necesarios y obtenidos a partir de 1000 g de alumbre.....	75
Tabla XXVIII.- Valores económicos de los reactivos utilizados y de los productos obtenidos.	76

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. 2.1.-	Reducción del aluminio.....	21
Ec. 2.2.-	Reducción del aluminio utilizando hidróxido de potasio.....	21
Ec. 2.3. (a,b,c) -	Obtención de alumbre de potasio a partir de tetrahidroaluminato de potasio y ácido sulfúrico	24
Ec. 3.1.-	Porcentaje de alumbre de potasio en la muestra analizada.	47
Ec. 4.1.-	Ecuación de la línea de tendencia de la curva de calibración.	50
Ec. 4.2.-	Ecuación para el cálculo del contenido de aluminio disuelto.	51

INTRODUCCIÓN

El blíster es un envase utilizado para contener formas farmacéuticas sólidas como tabletas y cápsulas. Está compuesto principalmente por aluminio y policloruro de vinilo (PVC).

En Ecuador, los desechos de blíster generados por las industrias farmacéuticas pueden ser dispuestos en el relleno sanitario, ya que no existe ninguna restricción para la disposición final de este material. Se sabe que los compuestos que contienen cloro en combustiones no controladas, pueden producir la formación de dioxinas, que son compuestos de elevada toxicidad.

Los componentes del blíster pueden ser recuperados por separado, pero el reciclaje de desechos de este tipo se dificulta porque el blíster es un material combinado. Como método de separación, se han comparado los procesos de disolución de desechos de blíster en diferentes soluciones alcalinas, y a distintas concentraciones. En algunas de esas investigaciones se ha buscado darle uso al PVC recuperado, pero no se ha realizado nada con el aluminio que queda luego de disolver los blíster de desecho.

En este trabajo se separan los componentes del blíster, pero además se sintetiza un producto de valor comercial a partir del aluminio recuperado: alumbre de potasio ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$). Además se evaluarán las características del producto obtenido, basándose en los ensayos descritos en la farmacopea para éste compuesto, y se determinará el rendimiento del proceso.

Todas las industrias farmacéuticas que envasan cápsulas o tabletas generarán desechos de los envases de blíster. La recuperación de estos desechos sería beneficiosa para el medio ambiente y podría generar un beneficio económico ya que el alumbre de potasio tiene varias aplicaciones industriales.

CAPÍTULO 1

INFORMACIÓN GENERAL

1 INFORMACIÓN GENERAL

1.1 Antecedentes

1.1.1 Definición del envase farmacéutico blíster

El blíster es un envase, en el cual uno de sus componentes ha sido moldeado para poder contener al producto. Este componente normalmente es transparente para permitir la visualización del producto y proteger al mismo de golpes durante las operaciones de manipulación y transporte. El envase blíster se puede utilizar para contener productos de papelería, componentes eléctricos, artículos de tocador, juguetes, productos de computación, etc (1,2).

En la industria farmacéutica se lo utiliza para contener tabletas y cápsulas. Este envase contiene las formas farmacéuticas en cavidades formadas por un plástico termoformado, cubiertas por una tapa formada de aluminio (2,3).



Figura 1.1.- Ristra de blíster.

Fuente: Carlo, B.

1.1.2 Historia del envase farmacéutico blíster

En la década de 1960, el alemán Karl Klein diseñó la primera maquinaria para la producción de envases blíster “pushthrough”. No obtuvo una patente para el diseño debido a que la industria farmacéutica europea no estaba muy interesada en él. En esa época las tabletas y cápsulas se envasaban en botellas de vidrio o plástico (1).

El primer producto que se distribuyó envasado en blíster fue la píldora anticonceptiva del laboratorio farmacéutico Schering. El

envase fue elegido porque se consideró que en él la administración del fármaco sería la más efectiva. La lámina transparente del blíster permitía verificar que los medicamentos hubieran sido prescritos en el día determinado (1).

Los beneficios del blíster se resumen en que ayuda a preservar la integridad del producto, son portátiles y reducen la posibilidad de mal uso accidental. Actualmente se utiliza el envase blíster para el 85 % de los medicamentos sólidos en Europa (1).

1.1.3 Desechos de blíster

Al final del envasado de cápsulas y tabletas en la industria farmacéutica, se genera un desecho del blíster. Este desecho se genera durante el calibrado de la máquina termoformadora y mientras se van cortando las ristras. Para cada lote de producción el desecho generado puede estar entre 2 y 12 % del material utilizado (Kronos Laboratorios Cia. Ltda., 2012).

Los desechos de blíster se podrían reciclar con el fin de reducir el impacto ambiental de las actividades de la industria farmacéutica. Sin embargo, al ser el blíster una combinación de distintos materiales (1), su reciclaje se dificulta porque los

materiales combinados siempre son más difíciles de reciclar (3). Dos de los componentes principales del blíster, aluminio y PVC, pueden ser recuperados por separado (4,5) pero para esto, sería necesario someterlos a un proceso de separación.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Estudiar un proceso de recuperación del aluminio obtenido de la separación de los componentes de desechos blíster en la industria farmacéutica.

1.2.2 Objetivos específicos

- Separar los componentes del blíster y recuperar el aluminio separado.
- Sintetizar alumbre de potasio a partir del aluminio separado de los desechos de blíster.

1.3 Hipótesis

- La separación de los componentes del blíster se podrá llevar a cabo con un proceso sencillo y con un alto porcentaje de recuperación de los componentes deseados.
- Es factible sintetizar alumbre de potasio a partir de aluminio separado de desechos blíster

1.4 Alcance de la tesis

En esta investigación se pretende separar los componentes principales del blíster y sintetizar alumbre a partir del aluminio recuperado.

Para el desarrollo de esta propuesta de investigación, se recolectarán muestras de desechos de blíster, de una industria farmacéutica de la ciudad, que poseían los tipos de PVC flexible y rígido. Se realizarán ensayos de un proceso de disolución de los componentes del desecho blíster, utilizando una solución de hidróxido de potasio. Con el aluminio recuperado se realizarán ensayos de síntesis de alumbre de potasio, al cual es necesario, una vez sintetizado, evaluar los parámetros indicados en la farmacopea.

Se pretende que el grado de pureza del producto sintetizado esté dentro del rango establecido por la farmacopea y que durante los ensayos de disolución se preserve la calidad del PVC recuperado para que pueda ser reutilizado posteriormente.

CAPÍTULO 2

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Componentes del blíster

Los envases de blíster están formados por dos capas: el molde y el sellado. El molde representa entre el 80 y 85 % del peso final del envase mientras que el sellado, entre el 15 y el 20 % del mismo. Los componentes principales del molde y el sellado son el PVC y el aluminio, respectivamente. Sin embargo, ambas capas contienen sustancias agregadas, como estabilizadores, plastificantes, etc., para mejorar las características del envase final o de su procesabilidad (1,6).

2.1.1 El molde

El molde es la parte del envase que contendrá al medicamento. Este material suele ser PVC ya que posee excelentes características termoformables (1,7).

El PVC es un polímero que en estado puro es un material rígido con buena resistencia a impactos, baja permeabilidad al agua, aceites, grasas y aromas, además de una buena resistencia a químicos. Este material tiene la desventaja de ser relativamente inestable al calor y la luz ultravioleta (7).

Para evitar la degradación del material a causa del calor y la luz, se adicionan estabilizadores al PVC. Estos estabilizadores suelen ser sales de metales como bario, calcio, cadmio, plomo o compuestos organometálicos (7).

A veces se requiere que el molde utilizado en el blíster sea flexible y no rígido, como suele ser el PVC. Para mejorar sus propiedades de flexibilidad se suelen adicionar compuestos de bajo peso molecular que se mezclen con el polímero. Estos compuestos adicionados, denominados plastificantes, suelen ser ftalatos como el DOP (D-n-octilftalato) (6).

Además de las propiedades mencionadas, el molde puede ser cambiado de color adicionándole colorantes inorgánicos como óxido de titanio para tornarlo blanco (6,7).

2.1.2 El material de sellado

El material de sellado es la capa de material metálico que posee propiedades compatibles con el sellado térmico que se hace durante el proceso de envasado de las formas farmacéuticas que contienen los blíster. El material utilizado también debe poseer resistencia a la abertura y soportar el peso del medicamento (1).

Para el sellado se utiliza una capa de aluminio de un espesor entre 0.02 y 0.025 mm (8). Esta capa también contiene una capa de adhesivo que con el calor producido en el proceso de termoformado permite que el molde y el sellado se sellen al adherirse. La capa de aluminio también posee la impresión correspondiente al medicamento envasado, cuya tinta utilizada no debe poseer hidrocarburos en su composición y debe resistir a la descomposición hasta temperaturas de 300 °C para que no reaccione con el medicamento (1).

2.2 Diagnóstico del impacto ambiental de residuos blíster en Ecuador

2.2.1 Aspectos e impactos ambientales de los componentes del blíster

2.2.1.1 Aluminio

El aluminio es un metal muy utilizado por su bajo costo económico y por sus propiedades de conductividad, ductibilidad y maleabilidad (9). Aproximadamente la mitad del aluminio mundial se utiliza en productos manufacturados para las industrias del transporte y la

construcción. La otra mitad está destinada para aluminio en embalajes y bienes de consumo (10).

El costo económico aparentemente bajo de aluminio y su omnipresencia no corresponden a los altos costos para el medio ambiente que resultan de su extracción y refinación. Bosques destruidos y aguas residuales contaminadas son algunos de los aspectos que ocasionan impactos graves sobre la comunidad y la salud de los que trabajan en la extracción minera (9).

El aluminio primario se produce en tres etapas: en la primera, el mineral de bauxita es extraído; a continuación, el óxido de aluminio o alúmina es refinado; finalmente, se funde en lingotes de aluminio, utilizando grandes cantidades de electricidad. La conversión de bauxita a aluminio primario es el proceso industrial que consume más energía en el mundo (9).

La industria del aluminio es un importante contribuyente al calentamiento global. El proceso de refinación de aluminio da lugar a las siguientes emisiones a la atmósfera: fluoruro

de hidrógeno (HF) y fluoruros particulados, alúmina, monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y dióxido de azufre (9).

Los desechos que contienen aluminio, como los del blíster, y que terminan en los rellenos sanitarios pueden reaccionar con el agua de los líquidos lixiviados y ocasionar incrementos descontrolados de temperatura. La combustión de los alrededores, cuando se produce, se vuelve difícil de controlar debido a la gran cantidad de energía térmica que es liberada (11).

2.2.1.2 PVC

Desde un punto de vista químico, el PVC es un polímero termoplástico conformado por hidrocarburos clorados. Las dos materias primas para producirlo son etileno y ácido clorhídrico; éstos, reaccionan para formar dicloruro de etileno (EDC); luego de ser pasar por el proceso de “cracking”, nos dan los monómeros de cloruro de vinilo (VCM), que se polimerizarán para producir el PVC (4).

Durante la producción del etileno, por craqueo al vapor, se generan emisiones de metano y propano-butano al agua. Como emisiones atmosféricas, gases explosivos como el etileno y propileno. Existen otros riesgos ambientales implicados en el resto del proceso petroquímico (4).

En cuanto al ácido clorhídrico, éste se obtiene mediante un proceso de electrólisis. Este proceso tiene un alto consumo de electricidad, lo que conlleva a emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y dióxido de azufre (SO_2). Además, durante la electrólisis se pueden producir emisiones de hidrógeno y de cloruro gaseoso a la atmósfera (4).

Durante la formación de EDC y VCM se puede formar algunos subproductos de hidrocarburos clorados; entre estos, las dioxinas (4). Dioxinas es el nombre que se utiliza para referirse a las policlorodibenzodioxinas (PCDD) y a los compuestos policlorodibenzofuranos (PCDF). Las PCDD son un grupo de 75 compuestos formados por dos anillos de bencenos clorados, unidos por dos átomos de oxígeno. Los PCDF son un grupo de 135 compuestos similares a las

PCDD, que además de los anillos de benceno, presentan un furano (12).

Las dioxinas son compuestos químicos poco biodegradables y que se pueden acumular en suelos y tejidos orgánicos, pudiendo penetrar en la cadena alimenticia. Su presencia en el medio ambiente preocupa ya que al no eliminarse ni degradarse con facilidad, van acumulándose en los tejidos. Experimentos de laboratorio con animales se ha comprobado que dosis no letales pueden producir cáncer, defectos de nacimiento, reducción de fertilidad y cambios en el sistema inmunológico (13).

Las sustancias que contienen cloro tienen el potencial de generar dioxinas cuando su combustión se produce en presencia de material orgánico (13). Por lo tanto, el contenido de PVC en desechos que se incineran (sea por incendios en el relleno sanitario, incineradores especiales o quema en botaderos) contribuirán a las emisiones de dioxinas. Además, los resultados de estas emisiones variarán de acuerdo al clima, condiciones de hidrológicas y composición de los demás desechos.

2.2.2 Disposición final de los desechos sólidos en Ecuador

2.2.2.1 Generalidades

En Ecuador, el 70 % de los municipios no tienen relleno sanitario. Los residuos sólidos terminan en ríos y botaderos a cielo abierto, en algunos de los cuales se realiza la quema de desechos (14). En ellos, los lixiviados y biogases que se generan, pueden migrar de forma aleatoria, contaminando suelo, mantos acuíferos y atmósfera. La problemática ambiental en estos sitios es grave, y más aún si estos sitios se encuentran cerca de comunidades porque se puede proliferar fauna nociva (ratas, moscas, etc.) y generar partículas aerotransportables que porten patógenos y produzcan enfermedades.

2.2.2.2 La situación en Guayaquil

Guayaquil es la ciudad del Ecuador con mayor población, industrias y comercio. Tiene 3 millones de habitantes y una tasa de crecimiento anual que ha sido de 3 % en los últimos años (15). La disposición final de desechos sólidos para

esta ciudad se realiza en el relleno sanitario “Las Iguanas”, a través del Consorcio ILM (16).

Debido a que en la ciudad existe una humedad ambiental alta, la generación de lixiviados en el relleno sanitario es inmediata y abundante. El método seleccionado para la eliminación de los lixiviados es por evaporación; sin embargo en las épocas de lluvias se requiere el uso de piscinas de almacenaje par posteriormente evaporarlos (16).

La evaporación de lixiviados es un método en el que se utiliza la energía que se obtiene de quemar el biogás del relleno sanitario para evaporar el lixiviado por calentamiento (17). Este método puede producir arrastre de compuestos orgánicos volátiles (COV) en el vapor de agua. Dependiendo del pH al cual se realice la evaporación, también ocurrir arrastres de ácidos grasos volátiles y amoníaco (18).

Guayaquil presenta un clima tropical lluvioso. Las épocas de lluvia pueden durar 4 meses. Para evitar el

escurrimiento de las aguas lluvias se han construido canales perimetrales sobre el terreno natural para desviar las aguas. Sin embargo, las lluvias pueden ser muy intensas por lo que el control para evitar contaminación por esorrentía de lixiviados se convierte en una tarea difícil (16).

2.2.2.3 Los desechos de blíster

Como se mencionó antes en este trabajo (p. 4), al final del envasado de cápsulas y tabletas se genera un desecho de blíster que puede estar entre el 2 y 12 % del material utilizado para cada lote. Este desecho está conformado por el remanente del material luego de realizar el corte de las ristas (ver figura 2.1) y por el material que se utiliza para calibrar la máquina. Dependiendo del número de tabletas/cápsulas contenidas en una rista, y de sus dimensiones, para un lote de producción de 100,000 tabletas/cápsulas el desperdicio puede estar entre 3 kg y 7 kg de blíster.



Figura 2.1.- Blíster con el corte de las ristas.

Fuente: Carlo, B.

Una industria farmacéutica de moderada producción (<3% del mercado nacional) envasa, en una jornada de 8 horas de trabajo, entre 3 y 4 lotes del tamaño mencionado. Cuando hay gran demanda de pedidos las industrias farmacéuticas trabajan horas extras, e incluso los fines de semana. Teniendo en cuenta esto, en un mes se pueden generar entre 130 y 280 kg de desechos de blíster; y al año, entre 1.9 y 2.2 Ton. (Kronos Laboratorios Cia. Ltda., 2012).

Para cumplir con uno de los objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir 2009-2013 que promueve el Gobierno Nacional

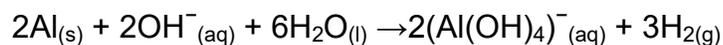
del Ecuador, el INCOP (Instituto de Contratación Pública del Ecuador) desarrolló en octubre del 2011 las subastas inversas de medicamentos (19). El objetivo a cumplir era el mejorar la calidad de vida de la población, fundamentándose en la salud, satisfaciendo la demanda de medicamentos en entidades prestadoras de salud del Estado. (20) En esta subasta de medicamentos los laboratorios nacionales lograron una participación mayoritaria, adjudicándose el 53% de las ofertas realizadas. De los 323 procesos adjudicados, 133 fueron para industrias con componente nacional; esto equivale a \$234,893,135.00 en fármacos (19).

Las industrias farmacéuticas nacionales pueden disponer sus desechos de envase blíster en el relleno sanitario debido a que en el Decreto 142 del Ministerio de Ambiente del Ecuador (documento en el que se enlista los desechos considerados como peligrosos), no se considera ni al aluminio ni al PVC como desechos peligrosos (21). Sin embargo, en regiones muy urbanizadas, el espacio en los vertederos está disminuyendo y la construcción de nuevos

rellenos sanitarios es costosa y algunas veces, ni siquiera resulta una opción debido a la falta de sitios potenciales.

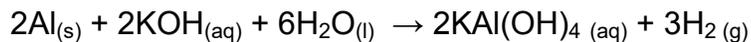
2.3 Separación de los componentes de blíster

Al disolver el blíster en una solución alcalina es posible separar el aluminio del PVC. En esta reacción redox, el aluminio se oxida a la vez que el ión hidronio del agua se reduce formando hidrógeno molecular como producto; la reacción es exotérmica (3,22).



Ec. 2.1.- Reducción del aluminio

Como álcali se puede utilizar hidróxido de sodio o de potasio. Si se utiliza éste último, las especies químicas que permanecen en solución son los iones de potasio (K^+) y los iones aluminato $[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$, más cualquier hidróxido de potasio que pueda quedar sin reaccionar (KOH) (3, 23).



Ec. 2.2.- Reducción del aluminio utilizando hidróxido de potasio

Respecto a la resistencia química del PVC, hay que recordar que a éste se le añaden varios aditivos (6). Ambos tipos de PVC contienen estabilizantes, lubricantes, cargas, modificadores y pigmentos, pero el PVC rígido carece prácticamente de agentes plastificantes (1, 6). De acuerdo al Boletín Técnico N°2 del PVC (por Braskem, 2012), el PVC rígido presenta una resistencia química satisfactoria a álcalis, como el hidróxido de potasio, a temperaturas de hasta 60°C. En cuanto al PVC flexible, a altas temperaturas puede ocurrir la hidrólisis del plastificante que contiene. A temperaturas bajas, podría ocurrir el mismo efecto si es que el álcali estuviese muy concentrado (24).

2.4 Alumbre

Los alumbres son compuestos iónicos dodecahidratados que son cristalizados a partir de soluciones que contienen un ión sulfato, un catión trivalente (que puede ser Al^{3+} , Cr^{3+} o Fe^{3+}) y un catión monovalente (que puede ser K^+ , Na^+ o NH_4^+). Seis de las moléculas de agua que los conforman se enlazan fuertemente con el ión del metal trivalente; las otras seis moléculas se enlazan de manera más leve con el catión monovalente y el sulfato aniónico (23).

El alumbre que se encuentra más comúnmente en estado natural es el alumbre de potasio, también conocido como sulfato de potasio y aluminio. Su fórmula es $KAl(SO_4)_2 \cdot 12 H_2O$ (25).

El alumbre de potasio se puede encontrar comercialmente en forma de polvo cristalino o masa cristalina incolora (26). Es muy utilizado a nivel industrial porque cumple un papel importante en la producción de algunos productos utilizados doméstica e industrialmente (27).

Su principal uso está en la fabricación de papel, seguido por su uso en la purificación de agua para uso humano e industrial. Otros usos incluyen fabricación de jabones, antitranspirantes, industria textil y de cuero, y como conservante en la industria alimenticia por su acción bactericida (25, 27).

Los alumbres se pueden encontrar en estado natural como piedra alumbre y en minerales que contienen alumbre, como la pizarra de alumbre y la aluminita. Éstos son extraídos por explotación minera y luego se lixivian para separar el alumbre (25).

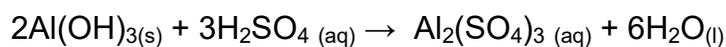
El alumbre de potasio también se puede sintetizar por precipitación de soluciones saturadas de sulfato de potasio y de sulfato de aluminio,

obtenidas adicionando ácido sulfúrico a una solución de tetrahidroaluminato de potasio. (23)

Ec. 2.3. (a,b,c) - Obtención de alumbre de potasio a partir de tetrahidroaluminato de potasio y ácido sulfúrico



(a)



(b)



(c)

2.5 Principios de cristalización

La cristalización es un proceso de formación de partículas por el cual, las moléculas de una solución se convierten en una fase sólida de estructura regular. Una forma particular de cristalización es la precipitación de partículas que ocurre a altos niveles de sobresaturación en una solución (28).

La solubilidad de una sustancia en un solvente es la máxima concentración que puede existir en el equilibrio bajo un conjunto de condiciones dadas, y normalmente es directamente proporcional a la temperatura de la solución. Una solución sobresaturada tiene mayor concentración que la que corresponde a la solubilidad del soluto a la temperatura y en el solvente dado (29).

La solución saturada se encuentra en equilibrio con la fase sólida de la misma sustancia. Cuando la concentración es mayor a la que corresponde al equilibrio, el soluto precipita. La sobresaturación corresponde a un estado inestable que puede pasar al equilibrio estable mediante un proceso mecánico, como la agitación (29).

En sistemas de precipitación, la sobresaturación es generada debido a la transferencia de masa que ocurre cuando los reactantes se mezclan. Para asegurar una buena mezcla, el reactivo precipitante se debe agregar lentamente y agitando de continuo. Las primeras partículas que precipitan, actuarán como núcleos de precipitación. La precipitación debe realizarse en soluciones calientes para asegurarse de que se disuelva la mayor cantidad de soluto posible (28, 29).

CAPÍTULO 3
METODOLOGÍA

3 METODOLOGÍA

3.1 Población analizada y tamaño de muestra seleccionada

La población analizada en el presente trabajo estuvo conformada por los desechos de blíster generados por una industria farmacéutica de la ciudad de Guayaquil. La industria otorgó permiso para tomar muestras de los rollos de blíster que quedan al final del proceso de envasado de los lotes de cápsulas y tabletas. En la población estaban presentes tres tipos de desechos de blíster, clasificados de acuerdo al tipo de PVC que los conformaba. Así tuvimos blíster con PVC color blanco, color ámbar y transparente. El PVC transparente era rígido, mientras que los otros PVC eran flexibles.

Debido a la frecuencia con que se envasaban los lotes de las formas farmacéuticas mencionadas y a la continuidad que podrían tener las actividades de esta industria en el futuro consideramos a la población como infinita. Por esto, el tamaño de la muestra seleccionada fue de 30 rollos de desechos de blíster para aproximar la distribución de datos a una distribución normal.

Para asegurarnos de que las muestras tomadas fuesen representativas de la población de la cual se seleccionaron, los rollos de blíster fueron tomados de lotes de producción correspondientes a días alternos. Se tomaron muestras de dos de los tres tipos de blíster mencionados: con PVC blanco y con PVC transparente. Se trabajó con estos tipos de muestras, por ser las más utilizadas en la industria que proporcionó las muestras; el PVC ámbar sólo era utilizado para productos fotosensibles.

En la siguiente figura se presenta un diagrama de flujo de la metodología empleada durante la experimentación. En los siguientes numerales se detalla cada paso.

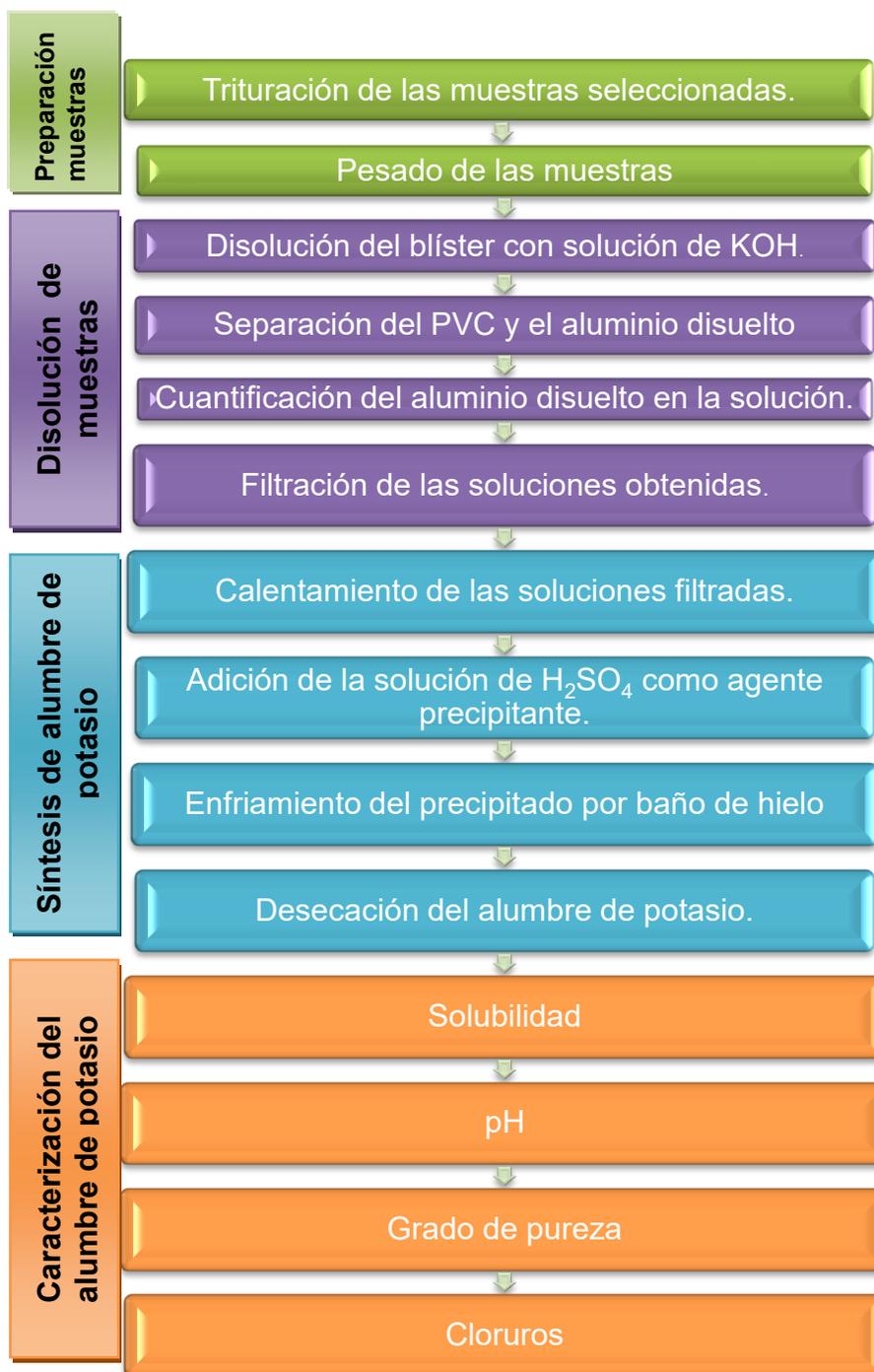


Figura 3.1.- Diagrama de flujo.

Fuente: Carlo, B.

3.2 Preparación de las muestras

Para facilitar la manipulación del blíster durante los ensayos a realizar fue necesario moler las muestras. Para esto se utilizó un triturador con motor de 3 velocidades y 600 W de potencia.



Figura 3.2.- Blíster triturado.

Fuente: Carlo, B.

Se pesaron aproximadamente 15 gramos de material triturado de cada muestra de blíster; las masas exactas fueron registradas, y se presentan en las tablas I y II. De aquí en adelante para referirse a los ensayos realizados se utilizará la nomenclatura:

- “PVCB” para referirse a las muestras que contenían PVC blanco, y
- “PVCT” para las que contenían PVC transparente.

Tabla I-- Masas de las muestras de blíster con PVCT.

Donde "i" se refiere al número de replicados y "mi" se refiere a la masa de cada muestra.

i	m_i (g)	i	m_i (g)
1	15.1778	9	15.1955
2	15.1101	10	15.2401
3	15.1036	11	15.2021
4	15.0427	12	15.2903
5	15.0873	13	15.2230
6	15.0665	14	15.1369
7	15.1791	15	15.1895
8	15.0262		

Tabla II.- Masas de las muestras de blíster con PVCB.

i	m_i (g)	i	m_i (g)
1	15.2324	9	15.1562
2	15.2965	10	15.2610
3	15.1684	11	15.1518
4	15.2957	12	15.2191
5	15.2812	13	15.1439
6	15.1841	14	15.2367
7	15.2503	15	15.2305
8	15.1151		

3.3 Proceso de separación del aluminio del residuo de blíster y recuperación del PVC

Para separar el aluminio de los residuos de blíster nos basamos en la metodología presentada por Castro en su trabajo "Reaproveitamento "Viabilização do reaproveitamento dos "Blister" de PVC/Al e estudos

das propiedades do PVC após processamento por radiação ionizante” (Castro, 2008), donde se utiliza una solución alcalina para disolver los desechos de blíster. Se procedió a realizar ensayos de disolución a las muestras pesadas utilizando 70 mL de una solución de hidróxido de potasio 1.4 M. Para determinar esta cantidad se realizaron cálculos estequiométricos, partiendo de la ecuación 2.2. Se consideró que teóricamente el contenido de aluminio en el blíster está entre 15 y 20% y se asumió el peso promedio de nuestras muestras como 15 g, de acuerdo a los siguientes cálculos:

Considerando 15% de contenido de aluminio.

$$15 \text{ g blíster} \times 0.15 \text{ Al/blíster} = 2.25 \text{ g Al}$$

$$2.25 \text{ g aluminio} \times (1 \text{ mol Al}/27 \text{ g Al}) \times (1 \text{ mol KOH}/ 1 \text{ mol Al}) \times (10^3 \text{ mL}/1.4 \text{ mol KOH}) = 59.46 \text{ mL KOH}$$

Considerando 20% de contenido de aluminio.

$$15 \text{ g blíster} \times 0.20 \text{ Al/blíster} = 3 \text{ g Al}$$

$$3 \text{ g aluminio} \times (1 \text{ mol Al}/27 \text{ g Al}) \times (1 \text{ mol KOH}/ 1 \text{ mol Al}) \times (10^3 \text{ mL}/1.4 \text{ mol KOH}) = 79.29 \text{ mL KOH}$$

El valor medio entre estas dos cantidades fue de 69.375 mL pero se trabajó con 70 mL.

El sistema empleado en las disoluciones se muestra en la figura 3.2, el cual estuvo conformado por los siguientes instrumentos y materiales:

- Plancha con agitador magnético de velocidad regulable, Corning modelo 9C-610
- Termómetro ASTM 34C (25-105°C)
- Matraz Erlenmeyer
- Tapón con un orificio para termómetro.
- Cronómetro



Figura 3.3.- Sistema de disolución de los desechos de blíster.

Fuente: Carlo, B.

En cada ensayo se introdujeron en el matraz Erlenmeyer: el agitador magnético, la solución de hidróxido de potasio y la muestra de blíster; inmediatamente se colocó el tapón con el termómetro. En ese momento se daba inicio a la dilución y se iniciaba el conteo con el cronómetro.

La agitación fue constante y moderada (nivel 3 del control de revoluciones) para asegurarnos de que todo el blíster reaccionara con la solución alcalina. Las mismas condiciones experimentales se repitieron para las 30 muestras de desechos de blíster. Durante la disolución se registraron los tiempos con cada grado que incrementaba la temperatura, hasta que la misma dejó de incrementarse.

La solución obtenida se filtró por gravedad para separar el PVC suspendido. Para esto se utilizó una malla metálica de 0.841 mm de tamiz, tomando como referencia los procedimientos de laboratorio propuestos por la Universidad de Colorado (University of Colorado, 2013). El PVC recuperado por filtración fue enjuagado con agua destilada, y se dejó secar envuelto en papel absorbente.

A continuación, se procedió a medir el contenido de aluminio disuelto en la solución obtenida. Pero antes, la solución fue filtrada nuevamente

para evitar interferencias debido a material insoluble suspendido en la solución. Se utilizó un filtro de membrana de nitrato de celulosa de 0.45 μm de porosidad y un embudo de vidrio con émbolo corto.



Figura 3.4.- Solución obtenida de la disolución de los desechos de blíster.

Fuente: Carlo, B.

3.4 Proceso de medición del contenido de aluminio disuelto en la solución obtenida

Para efectos de estos ensayos se utilizó un espectrofotómetro marca Thermo Scientific, modelo Genesys 105 UV-VIS. La metodología utilizada está basada en el método publicado en “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”. Los reactivos utilizados fueron los siguientes:

- Solución estándar de aluminio

- Tinte de eriocromocianina
- Solución de ácido ascórbico.
- Solución buffer de acetato de sodio
- Solución de H_2SO_4 0.02 N
- Solución indicadora de naranja de metilo
- Solución de EDTA 0.01M

La preparación de los reactivos mencionados se detalla en el Anexo A.

Para poder determinar la concentración de aluminio en las soluciones obtenidas, fue necesario elaborar una curva de calibración donde se graficó la concentración de una serie de soluciones de aluminio, contra su absorbancia, medida en el espectrofotómetro a 535 nm. Esta serie de soluciones debían contener 0 μg , 1 μg , 2 μg , 3 μg , 4 μg , 5 μg , 6 μg y 7 μg de aluminio; fueron preparadas vertiendo 0.2 mL, 0.4 mL, 0.6 mL, 0.8 mL, 1 mL, 1.2 mL y 1.4 mL de la solución estándar de aluminio (preparación en Anexo A) en matraces aforados de 50 mL. Cada matraz se llenó, primeramente, hasta 25 mL con agua destilada; a continuación se colocó, en cada uno, los siguientes reactivos: 1 mL de solución de H_2SO_4 0.02 N, 1 mL de solución de Ácido Ascórbico, 10 mL de solución buffer de Acetado de Sodio, 5 mL de tinte de Eriocromocianina. Luego

se enrazó hasta 50 mL con agua destilada y se procedió a medir las absorbancias, ajustando la absorbancia del equipo a cero con la solución que no contenía aluminio.

Una vez elaborada la curva de calibración, se procedió a preparar las muestras a analizar. Para asegurarse que el contenido de aluminio disuelto en las muestras fuera detectado por el espectrofotómetro se prepararon disoluciones de 1 en 10^4 , tomando 5 μL de las muestras y disolvieron con agua destilada en matraces de 50 mL.



Figura 3.5.- Espectrofotómetro.

Fuente: Carlo, B.

Para cada ensayo se preparó la solución problema por duplicado y se ajustó el espectrofotómetro a cero con un blanco. Para estas soluciones se utilizaron matraces aforados de 50 mL. y en cada uno se vertieron 25 mL de la muestra diluida (1:10000). A cada matraz, se añadía 1 mL de

H₂SO₄ 0.02 N. Al matraz del blanco se añadía 1 mL de la solución de EDTA 0.01 M. A continuación se añadía a los matraces 1 mL de la solución de ácido ascórbico, 10 mL de la solución buffer de acetato de sodio y 5 mL del tinte de eriocromocianina. Finalmente se enrazaba con agua destilada.

3.5 Proceso de síntesis del alumbre de potasio

Para los ensayos de síntesis de alumbre de potasio se utilizaron los siguientes instrumentos y materiales:

- Solución de H₂SO₄ 9M (preparada a partir de H₂SO₄ ρ=1.84 g/mL, %>98.9%)
- Matraz Erlenmeyer
- Probeta de 100 mL
- Plancha de calentamiento regulable, Corning modelo 9C-600
- Termómetro ASTM 34C (25-105°C)
- Recipiente de 1000 mL con hielo
- Recipiente de borosilicato
- Embudo Büchner
- Kitasato
- Manguera de silicón

- Bomba de vacío

Utilizando la probeta se midieron 60 mL de la solución obtenida en los ensayos de disolución y se colocaron en el matraz erlenmeyer. Se comenzó a calentar la solución mediante la plancha de calentamiento. Se ajustó el nivel de calefacción hasta verificar con el termómetro que la temperatura de la solución fuese 80°C. A continuación, se comenzó a adicionar el H₂SO₄ 9M como reactivo precipitante, utilizando la llave de la bureta; el reactivo se adicionó lentamente para asegurarse que se disolviera en la solución (28, 32).



Figura 3.6.- Sistema de precipitación para el alumbre de potasio.

Fuente: Carlo, B.

Como la reacción era exotérmica, se midió la temperatura y se ajustaba la regulación de la plancha de calentamiento para tratar de mantener la

temperatura del sistema constante. Se continuó añadiendo H_2SO_4 9M hasta que la solución se sobresaturara.

Una vez sobresaturada la solución, se trasladó a un recipiente de borosilicato y se llevó a un baño de hielo para que el soluto se precipitara, y se dejó ahí por dos horas para que las partículas pequeñas vuelvan a disolverse y precipiten en las partículas más grandes (28, 32).



Figura 3.7.- Solución en baño de hielo.

Fuente: Carlo, B.

A continuación, se procedió a filtrar el precipitado utilizando un sistema de precipitación al vacío (figura 3.8). Se utilizó un papel filtro de 5-8 μm de porosidad. El producto obtenido se colocó en un desecador y dejó ahí por dos días. Transcurrido ese tiempo se pesó el producto obtenido y se almacenó para posteriores análisis.

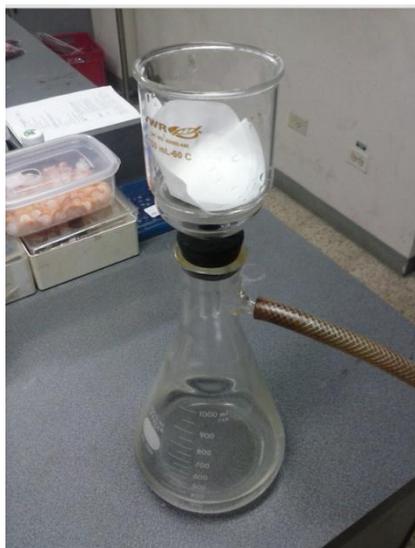


Figura 3.8.- Sistema de filtración al vacío.

Fuente: Carlo, B.



Figura 3.9.- Alumbre de potasio, filtrado y secado.

Fuente: Carlo, B.

3.6 Proceso de evaluación de las características del alumbre de potasio

Para los siguientes ensayos se tomaron en forma aleatoria, 12 muestras de los productos obtenidos de la síntesis de alumbre de potasio. Los ensayos se describen a continuación.

3.6.1 Limpidez y grado de coloración

La limpidez de una solución se refiere a su grado de limpieza, mientras que el grado de coloración se refiere al tono qué tan fuerte es el tono que posee una solución. Para evaluar estos parámetros se tomó como referencia los métodos indicados en la Real Farmacopea Española (Ministerio de Sanidad y Consumo del Medicamento, 1997) A continuación se describe la metodología:

Se debe preparar las soluciones a examinar, disolviendo 2.5 g de cada muestra del alumbre de potasio obtenido, en 50 mL de agua destilada. Como solución de referencia se debe utilizar agua destilada.

En tubos de ensayo idénticos, de vidrio neutro, incoloro y transparente, se deben colocar las soluciones a examinar y la suspensión de referencia; los tubos de ensayo deben tener una altura de al menos 40 mm. En un lugar con iluminado y sobre un fondo negro, se colocan los tubos y se observa el contenido de los mismos.

El método nos indica que la solución a examinar se considera límpida si su limpidez es igual que la de la solución de referencia, cuando se observa en las condiciones ya señaladas; o bien si su opalescencia es superior a la de la suspensión de referencia. Respecto al grado de coloración, la solución se considera incolora si tiene el mismo aspecto, o si no es más coloreada que la solución de referencia. El aspecto de las soluciones examinadas debe ser límpido e incoloro (33-35).

3.6.2 pH

El pH es un valor que representa convencionalmente la concentración de iones hidrógeno de una solución acuosa. Para medir este parámetro se tomó como referencia el método indicado

en la Farmacopea Española (Ministerio de Sanidad y Consumo del Medicamento, 1997).

Para la medición del pH se utilizó un potenciómetro calibrado marca Oakton, modelo ph 510 series. Luego de calibrar el equipo con las soluciones buffer de referencia, se procedió a medir el pH de la solución obtenida de disolver 1 g del analito en 10 mL de agua destilada. El valor medido debía estar entre 3.0 y 3.5 (33-35). La solución debía estar a temperatura ambiente al momento de medir el pH (33).

3.6.3 Grado de pureza

Por grado de pureza, se refiere al porcentaje de una determinada sustancia contenido en una muestra. El método utilizado para este parámetro se tomó de la Farmacopea Francesa (Ministère de la Santé Publique et de la Population, 1965). Este método no varía de aquellos presentados para el mismo parámetro en la Farmacopea Española (Ministerio de Sanidad y Consumo del Medicamento, 1997) y en la de los Estados Unidos de América (USP Pharmacopeial Convention, 2007)

Para determinar el grado de pureza se realizaron ensayos de análisis químico cuantitativo por medición de volúmenes. Éstos, se realizaron por duplicado para cada muestra, para calcular un valor promedio que se aproxime con mayor exactitud al valor real. Los siguientes reactivos fueron utilizados (ver modo de preparación en Anexo A):

- Solución de etilendiaminotetracetato sódico (EDTA) 0.05 M,
- Solución de acetato amónico y ácido acético diluido
- Etanol
- Solución de ditizona del 0.025% m/V.
- Solución de sulfato de cinc 0.05 M

En un matraz de 500 mL, se disolvieron aproximadamente 0.900 g de alumbre de potasio, pesados previamente, en 20 mL de agua. Luego se adicionaron 25 mL de la solución de EDTA 0.05M y 10 mL de la solución buffer de acetato amónico y ácido acético. La solución se calentó hasta ebullición durante 2 minutos, y se dejó enfriar. Alcanzada la temperatura ambiente, se añadieron 50

mL de etanol. A continuación, 3 mL de la solución de ditizona como indicador (33-35).

Se tituló con la solución de sulfato de cinc 0.05 M, hasta que se produjera el viraje a un color rosado brillante. Cada mL de EDTA 0.05M equivale a 47.44 mg $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ (33, 34).



Figura 3.10.- Soluciones de la sustancia en análisis, una vez colocado el indicador.

Fuente: Carlo, B.

El grado de pureza de la muestra analizada, es decir, el porcentaje de alumbre de potasio en la muestra analizada, se calculó con la siguiente expresión (34):

$$H = (25 - n) \cdot (4,744) / p$$

**Ec. 3.1.- Porcentaje de alumbre de potasio en la muestra
analizada.**

Donde “n” es el volumen titulado EDTA sódico, en mL, y “p” el peso exacto de alumbre de potasio que se disolvió en agua. El grado de pureza del alumbre de potasio debía estar entre 99 y 105% (33-35).

3.6.4 Cloruros

El siguiente método, de detección de cloruros, fue tomado de la Farmacopea Francesa (Ministère de la Santé Publique et de la Population, 1965). Es un método únicamente cualitativo, ya que no se cuantifica la cantidad de iones cloruros en la muestra. Los reactivos utilizados fueron los siguientes:

- Solución de AgNO_3 0.1N
- Solución de HCl 0.003 M

El modo de preparación de estos reactivos se encuentra en el Anexo A.

Se disolvió alrededor de 1 gramo de alumbre de potasio en 100 mL de agua destilada, y se vertieron 10 mL de esta solución en un vial para fármacos, transparente. Seguidamente se agregaron cinco gotas de la solución de AgNO_3 0.1N.

La opalescencia debido a la formación de precipitado, si se produjese, indicaría la presencia de cloruros en el analito. Para el alumbre de potasio, esta opalescencia no debería ser más intensa que la que se produce al realizar el mismo tratamiento a 10 mL de la solución de HCl 0.003 M.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE

RESULTADOS

4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Contenido de aluminio disuelto en las soluciones

En las tablas III y IV se presentan los datos de absorbancia medidos para las muestras obtenidas de las disoluciones de blíster. En estas tablas también se muestra la concentración de aluminio en las disoluciones, calculada de reemplazar el valor de la absorbancia en la ecuación de la línea de tendencia de la curva de calibración.

$$Y = 0.0066X - 0.01$$

Ec. 4.1.- Ecuación de la línea de tendencia de la curva de calibración.

Tabla III.- Concentración de aluminio en las disoluciones de PVCT para el espectrofotómetro. Donde "i" se refiere al número de la muestra

i	Absorbancia			$\mu\text{g Al} / \text{L}_i$
	A	B	Promedio	
1	0.139	0.143	0.141	22.8500
2	0.136	0.132	0.134	21.7975
3	0.139	0.134	0.136	22.1900
4	0.127	0.131	0.129	21.0850
5	0.136	0.132	0.134	21.8550
6	0.130	0.136	0.133	21.6725
7	0.141	0.137	0.139	22.6125
8	0.137	0.132	0.135	21.8950
9	0.127	0.133	0.130	21.2175
10	0.135	0.130	0.132	21.5650
11	0.130	0.127	0.128	20.9750
12	0.139	0.143	0.141	22.8675
13	0.133	0.129	0.131	21.3550
14	0.134	0.137	0.136	22.0550
15	0.130	0.125	0.127	20.8200

Tabla IV.- Concentración de aluminio en las disoluciones de PVCB para el espectrofotómetro. Donde “i” se refiere al número de la muestra.

i	Absorbancia			$\mu\text{g Al} / L_i$
	A	B	Promedio	
1	0.169	0.173	0.171	27.4725
2	0.174	0.179	0.177	28.2675
3	0.178	0.183	0.180	28.8400
4	0.183	0.187	0.185	29.4975
5	0.171	0.176	0.174	27.8100
6	0.165	0.168	0.167	26.7575
7	0.167	0.172	0.169	27.1700
8	0.176	0.181	0.178	28.5575
9	0.181	0.186	0.183	29.2925
10	0.171	0.174	0.172	27.5800
11	0.184	0.187	0.186	29.6325
12	0.166	0.171	0.168	27.0300
13	0.169	0.171	0.170	27.3050
14	0.170	0.167	0.168	27.0200
15	0.175	0.174	0.175	28.0050

Para el cálculo de la cantidad de aluminio disuelta en las disoluciones en los ensayos de disolución de los desechos de blíster, utilizamos la siguiente ecuación:

$$CAI_i (\text{mg/L}) = (\mu\text{g Al} / L_i) * (\text{factor de disolución}) / (\text{mL muestra})$$

Ec. 4.2.- Ecuación para el cálculo del contenido de aluminio disuelto.

Donde el factor de disolución fue 10000 y el valor de “mL de muestra” fue 25. Los valores de “ $\mu\text{g Al} / L_i$ ” se tomaron de las tablas II y III. Los resultados obtenidos se presentan en las tablas V y VI.

Tabla V.- Concentración de aluminio en las soluciones de los ensayos de disolución de blíster con PVCT. Donde “i” se refiere al número de la muestra y “CAI_i” a la concentración de aluminio.

i	CAI _i (mg/L)
1	9140
2	8719
3	8876
4	8434
5	8742
6	8669
7	9045
8	8758
9	8487
10	8626
11	8390
12	9147
13	8542
14	8822
15	8328

Tabla VI.- Concentración de aluminio en las soluciones de los ensayos de disolución de blíster con PVCB. Donde “i” se refiere al número de la muestra.

i	CAI _i (mg/L)
1	10989
2	11307
3	11536
4	11799
5	11124
6	10703
7	10868
8	11423
9	11717
10	11032
11	11853
12	10812
13	10922
14	10808
15	11202

En la tabla VII se presenta un resumen de los estadísticos descriptivos calculados para los datos de concentración de aluminio.

Tabla VII.- Resumen de estadísticos descriptivos para CAI_i (mg/L)

Grupo	Media	Varianza	Mínimo	Máximo
PVCT	8715.0	67315.6	8328.0	9147.0
PVCB	11206	145944	10703	11853

Las medias de “CAI” obtenidas fueron 8715, y 11206 mg/L; para los ensayos de los grupos de PVCT y PVCB, respectivamente. En la figura 4.1, del diagrama de cajas para la concentración de aluminio, podemos ver que las medias de ambos grupos varían notablemente.

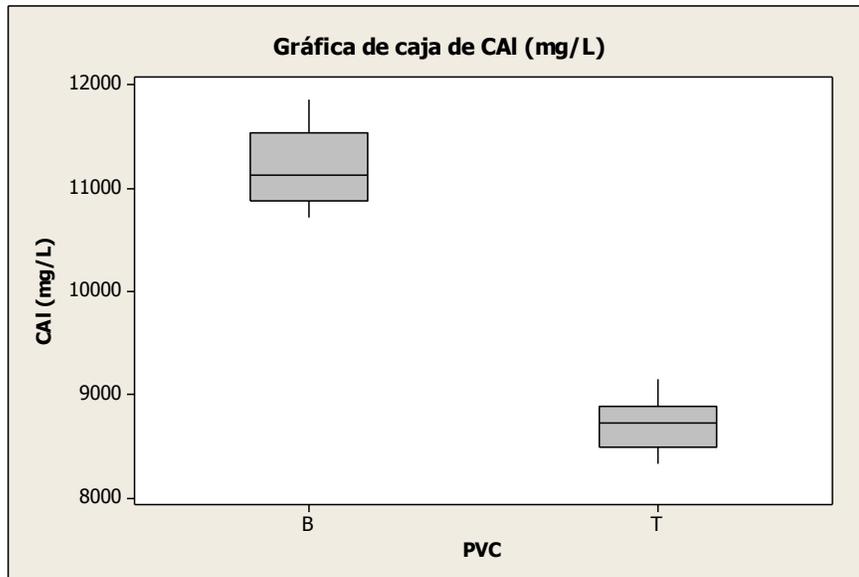


Figura 4.1.- Diagrama de cajas para el CAI (mg/L).

Fuente: Minitab

4.2 Eficiencia de disolución del aluminio en la solución seleccionada

Durante los ensayos de disolución se registraron los incrementos de la temperatura con el tiempo. Los datos recolectados se encuentran en el Anexo B, y los gráficos de temperatura versus tiempos, elaborados con estos datos, en el Anexo C.

En las tablas siguientes se muestran los valores de las temperaturas más altas alcanzadas, en los ensayos de disolución, así como los tiempos en que se alcanzaron.

Tabla VIII.- Temperaturas máximas registradas, y sus tiempos, durante la disolución de blíster con PVCT Donde “i” se refiere al número de muestra que se disolvió; “Tmaxi”, a la temperatura máxima registrada en ese ensayo; y “ti”, el tiempo en minutos y segundos en el cual se la registró.

i	t _i (m:s)	Tmax _i (°C)	i	t _i (m:s)	Tmax _i (°C)
1	16:22	70	9	22:22	67
2	18:40	66	10	19:52	69
3	17:03	70	11	19:20	76
4	18:01	68	12	18:54	74
5	17:36	67	13	18:20	78
6	20:34	67	14	17:40	76
7	19:00	70	15	15:50	77
8	30:37	61			

Tabla IX.- Temperaturas máximas registradas, y sus tiempos durante la disolución de blíster con PVCB

i	t _i (m:s)	Tmax _i (°C)	i	t _i (m:s)	Tmax _i (°C)
1	11:40	87	9	10:48	84
2	10:12	85	10	09:53	86
3	11:34	86	11	11:10	84
4	11:46	84	12	08:48	87
5	11:53	85	13	08:08	84
6	09:46	83	14	09:46	84
7	10:43	83	15	10:03	83
8	11:47	85			

Para el cálculo de los estadísticos descriptivos de los datos presentados en las tablas anteriores, la unidad de tiempo fue transformada de segundos a minutos. A continuación, los valores obtenidos:

Tabla X.- Resumen de estadísticos descriptivos para t y Tmax

Variable-Grupo	Media	Varianza	Mínimo	Máximo
t-PVCT	17.480	0.712	15.833	18.600
t-PVCB	9.979	0.328	8.800	10.800
Tmax-PVCT	70.40	23.40	61.00	78.00
Tmax-PVCB	84.667	1.810	83.000	87.000

Para los ensayos de blíster con PVCT, la temperatura máxima estuvo entre 61 y 78 °C; se registraron valores más altos para los ensayos de blíster con PVCB: entre 83 y 87 °C. En la figura 4.2, se aprecia mejor esta diferencia de valores..

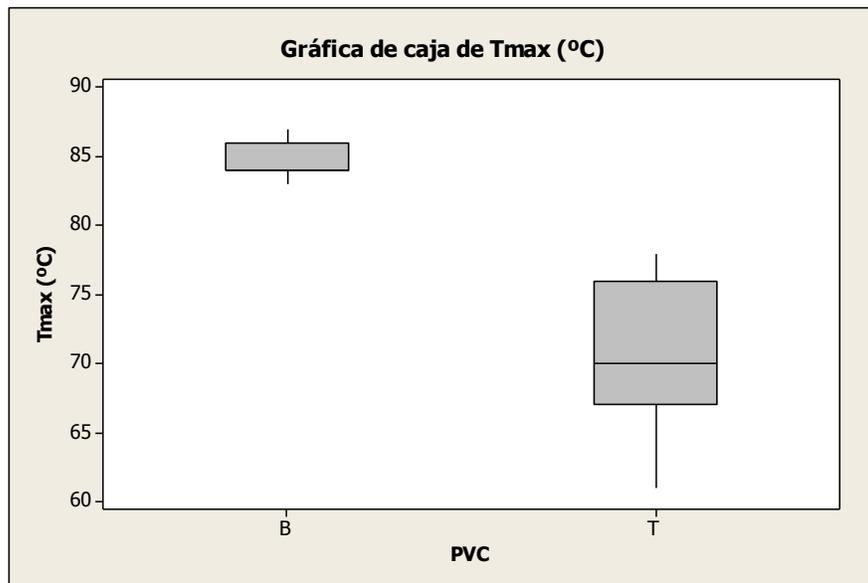


Figura 4.2.- Diagrama de cajas de las temperaturas máximas alcanzadas durante los ensayos de disolución.

Fuente: Minitab.

Respecto a los tiempos en que se alcanzaron estas temperaturas, los de los ensayos de PVCB fueron más bajos que los de PVCT. El tiempo en que se alcanzó la temperatura máxima estuvo entre 15.83 y 18.6 minutos para los ensayos con PVCT. Para los ensayos de blíster con PVCB, el tiempo estuvo entre 8.8 y 10.8 minutos. En la figura 4.3, podemos ver que la distribución del tiempo en los ensayos del grupo del PVCB tiene un sesgo a la izquierda, debido al valor de su media.

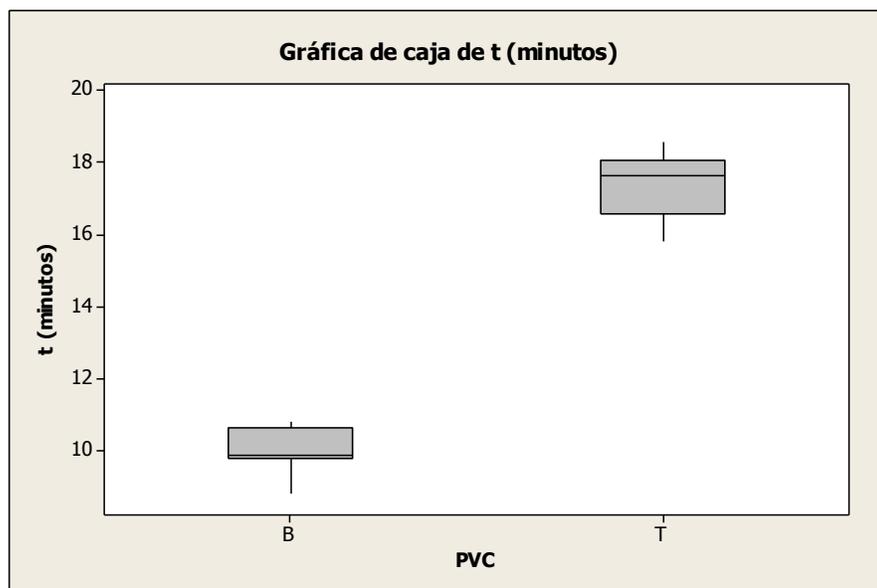


Figura 4.3.- Diagrama de cajas de los tiempos en que se alcanzó la temperatura máxima durante los ensayos de disolución.

Fuente: Minitab.

Durante los ensayos de disolución con PVCT la temperatura máxima media fue 14 °C inferior que del grupo del PVCB. Además de alcanzar una temperatura más alta en los ensayos del grupo del PVCB, esta también se alcanzó en un menor tiempo: aproximadamente 7 minutos más rápido.

La mezcla en los ensayos de PVCB al parecer fue más rápida, a pesar que la disolución se realizó bajo las mismas condiciones. Como el PVCB es menos rígido que el PVCT, la mezcla podía ocurrir con más

facilidad y esto pudo haber influenciado en la rapidez de calentamiento de ese sistema.

4.3 Características del PVC recuperado

Como se describió en la metodología (p.34), una vez filtrado el PVC, éste se dejó secar. En la figura 4.4.a se muestra el aspecto de una de las muestras de PVCT recuperado. A simple vista no se perciben trazas de aluminio sin disolver, por lo que se podría decir que la disolución fue completa. Sin embargo, en la figura 4.4.b se presenta una ampliación de uno de los fragmentos de la misma muestra, en donde se detectó una traza de aluminio sin disolver. En la figura 4.4.c se muestra un fragmento libre de trazas de aluminio, pero en donde hay imperfecciones que no estaban presentes antes de la disolución en la solución de hidróxido de potasio.



Figura 4.4.a.- PVCT recuperado.

Fuente: Carlo, B.



Figura 4.4.b.- PVCT recuperado. En el círculo rojo se resalta una traza de aluminio sin disolver, detectada visualmente.

Fuente: Carlo, B.



Figura 4.4.c.- PVCT recuperado. Aquí se aprecian las imperfecciones que adquirió la muestra luego de la disolución.
Fuente: Carlo, B.

De manera similar, presentamos en las figuras 4.5.a y 4.5.b, una de las muestras recuperadas para el PVCB. Aquí no se presenta la imagen con acercamiento ya que debido al brillo de estas muestras no se apreciaban las imperfecciones que adquirieron. En las muestras inspeccionadas de PVCB, al parecer había más trazas de aluminio sin disolver que en las de PVCT.



Figura 4.5.a.- PVCB recuperado.

Fuente: Carlo, B.



Figura 4.5.b.- PVCB recuperado. Se resaltó con círculos rojos las trazas de aluminio sin disolver que fueron detectadas visualmente.

Fuente: Carlo, B.

Durante la filtración hubo pérdida de material ya que el PVC húmedo se adhiere fácilmente a cualquier superficie. Las muestras de PVC recuperado fueron pesadas para determinar el porcentaje de recuperación de PVC. Como valor teórico se consideró que el PVC contenía 85% de PVC, y se calculó dicho porcentaje de las masas de las muestras de blíster preparadas al comienzo de la experimentación (Tablas I y II). A continuación se muestran los resultados obtenidos.

Tabla XI.- Datos de recuperación del PVCT. Donde "i" se refiere al número de la muestra trabajada; "mPVC_i", a la masa teórica de PVC contenida en esa muestra; "mrPVC_i", a la masa recuperada y "prPVC_i" al porcentaje que se recuperó.

i	mPVC_i (g)	mrPVC_i (g)	prPVC_i (%)
1	12.9011	11.7368	90.9748
2	12.8436	11.8440	92.2175
3	12.8381	11.7416	91.4595
4	12.7863	11.5590	90.4017
5	12.8242	11.7130	91.3353
6	12.8065	11.7865	92.0348
7	12.9022	11.3495	87.9651
8	12.7723	11.2340	87.9564
9	12.9162	11.3536	87.9025
10	12.9541	11.5462	89.1318
11	12.9218	11.5223	89.1693
12	12.9968	11.6646	89.7499
13	12.9396	11.7311	90.6606
14	12.8664	11.7112	91.0220
15	12.9111	11.4617	88.7738

Tabla XII.- Datos de recuperación del PVCB.

i	mPVC_i (g)	mrPVC_i (g)	prPVC_i (%)
1	12.9475	11.8541	91.5548
2	13.0020	11.6538	89.6310
3	12.8931	11.4405	88.7330
4	13.0013	11.4781	88.2839
5	12.9890	11.5183	88.6770
6	12.9065	11.4689	88.8613
7	12.9628	11.6606	89.9545
8	12.8478	11.6249	90.4811
9	12.8828	11.6925	90.7608
10	12.9719	11.8242	91.1526
11	12.8790	11.4556	88.9475
12	12.9362	11.4731	88.6893
13	12.8723	11.6563	90.5533
14	12.9512	11.4706	88.5678
15	12.9459	11.6830	90.2447

El porcentaje recuperado de PVCT estuvo entre 87.903 y 92.218%; el de PVCB, entre 88.91555 y 88.284%. En la tabla XXII se presentan estos estadísticos descriptivos.

Tabla XIII.- Resumen de estadísticos descriptivos para prPVC(%).

Grupo	Media	Varianza	Mínimo	Máximo
PVCT	90.050	2.232	87.903	92.218
PVCB	89.673	1.138	88.284	91.555

En promedio, el porcentaje con que se recuperó el PVC fue de 90.050 y 89.673%; para las muestras de PVCT y PVCB, respectivamente. En la figura 4.6, del diagrama de cajas, podemos ver que la distribución de los datos no es muy distinta.

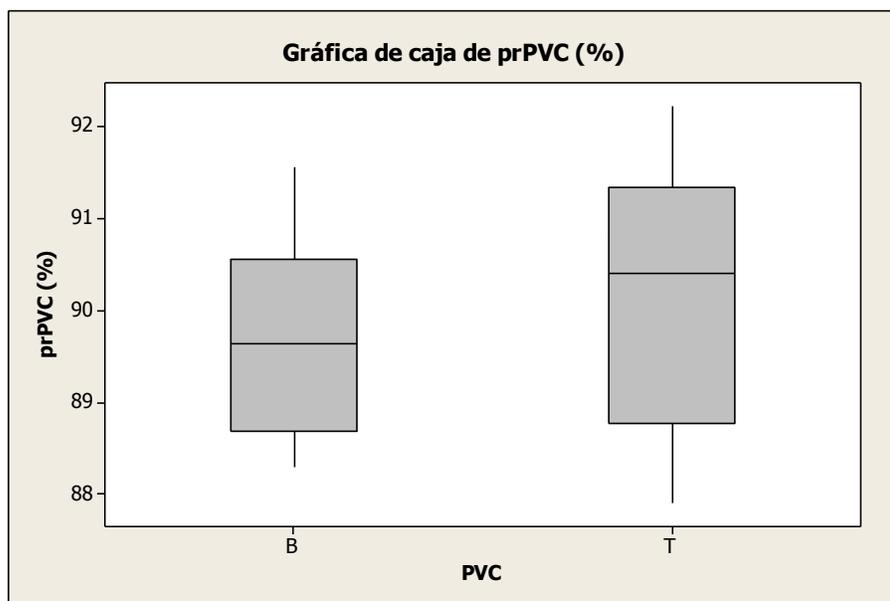


Figura 4.6.- Diagrama de cajas para el prPVC (%).

Fuente: Minitab.

Haciendo uso del software estadístico Minitab, se realizó la prueba de intervalos de confianza de Tukey (36, 37), con $\alpha=0.05$ para verificar si existía una diferencia significativa entre las medias del porcentaje de recuperación. En la tala XIV se muestran los valores del intervalo de confianza calculados para la prueba.

Tabla XIV.- Intervalos de confianza de Tukey para los datos de prPVC del grupo del PVCB restados de los del PVCT

Cota inferior	Centro	Cota superior
-0.593	0.377	1.348

Cuando un intervalo de confianza de Tukey incluye al cero, se puede concluir que la diferencia entre esas medias no es significativa (36, 37). Como 0 está entre -0.593 y 0.377, podemos decir con un 95% de confianza que no existe diferencia significativa entre el porcentaje con que se recuperó el PVC para los ensayos realizados.

4.4 Rendimiento de la síntesis del alumbre de potasio obtenido

Para los cálculos del rendimiento, se consideraron la masa experimental de los cristales obtenidos y la masa teórica de los mismos, la cual se determinó a partir de la cantidad de aluminio disuelta en los ensayos (Tablas V y VI). La relación entre el aluminio y el alumbre de potasio en las ecuaciones 2.2 y 2.3 (a,b,c) era equimolar. En las tablas XV y XVI se presentan los resultados obtenidos.

En la tabla XVII se presenta un resumen de los estadísticos descriptivos calculados. Para el grupo del PVCT, el rendimiento de la síntesis de alumbre estuvo entre 85.473 y 94.605%; para el grupo del PVCB, entre 90.195% y 93.630%.

Tabla XV.- Datos de síntesis de alambre PVCT Donde “i” se refiere al número de la muestra trabajada; “ mAl_i ”, a la cantidad de aluminio disuelto en la solución; “ $mtCt_i$ ”, a la masa teórica de los cristales; “ mC_i ”, a la masa de los cristales obtenidos, y “ rC_i ” rendimiento de la síntesis de cristales en ese ensayo.

PVCT				
i	mAl_i (g)	$mtCt_i$ (g)	mC_i (g)	rC_i (%)
1	0.5484	9.6244	9.0140	93.6576
2	0.5231	9.1811	8.6659	94.3884
3	0.5326	9.3464	8.7498	93.6165
4	0.5060	8.8810	7.9906	89.9741
5	0.5245	9.2053	8.4823	92.1456
6	0.5201	9.1285	7.9979	87.6150
7	0.5427	9.5244	8.8482	92.9005
8	0.5255	9.2222	7.8825	85.4733
9	0.5092	8.9368	8.1702	91.4219
10	0.5176	9.0832	8.5931	94.6046
11	0.5034	8.8347	8.0516	91.1364
12	0.5488	9.6318	9.0441	93.8984
13	0.5125	8.9947	8.0337	89.3157
14	0.5293	9.2896	8.6462	93.0743
15	0.4997	8.7694	7.5363	85.9388

Tabla XVI.- Datos de síntesis de alambre PVCB.

PVCB				
i	mAl_i (g)	$mtCt_i$ (g)	mC_i (g)	rC_i (%)
1	0.6593	11.5714	10.4368	90.1947
2	0.6784	11.9063	11.0235	92.5857
3	0.6922	12.1474	11.2320	92.4640
4	0.7079	12.4243	11.5014	92.5718
5	0.6674	11.7136	10.8203	92.3736
6	0.6422	11.2703	10.4440	92.6680
7	0.6521	11.4440	10.5092	91.8318
8	0.6854	12.0284	10.9043	90.6543
9	0.7030	12.3380	11.4841	93.0793
10	0.6619	11.6167	10.6864	91.9918
11	0.7112	12.4812	11.4222	91.5152
12	0.6487	11.3850	10.4843	92.0883
13	0.6553	11.5009	10.5803	91.9952
14	0.6485	11.3808	10.6548	93.6204
15	0.6721	11.7957	10.8854	92.2824

Tabla XVII.- Resumen de estadísticos descriptivos para rC(%).

Grupo	Media	Varianza	Mínimo	Máximo
PVCT	91.277	9.040	85.473	94.605
PVCB	92.128	0.746	90.195	93.620

En la figura 4.7 podemos ver que la distribución de los datos del grupo del PVCB fue más estrecha que la del grupo del PVCT. También se presentaron algunos valores aberrantes en el grupo de datos del PVCB.

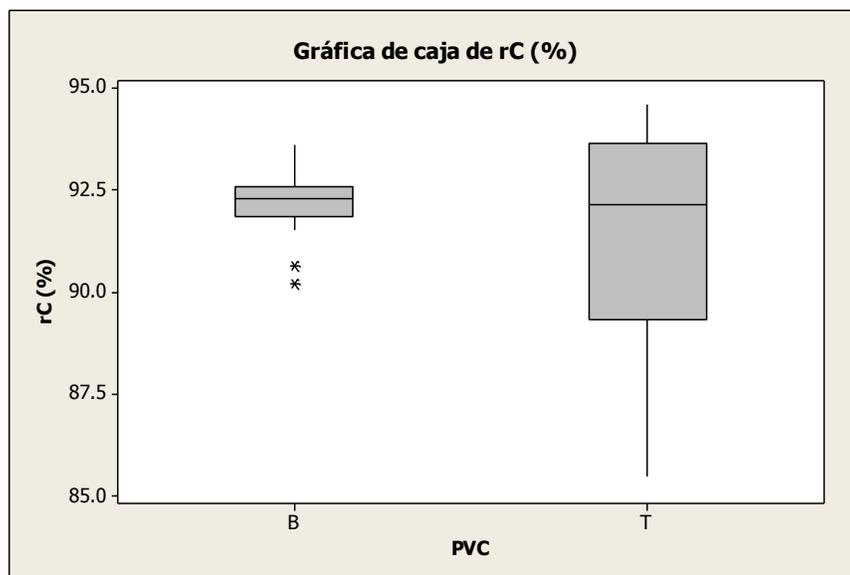


Figura 4.7.- Diagrama de cajas rendimiento de síntesis de alumbre de potasio.

Fuente: Minitab

En el diagrama de cajas también se puede ver que las medias se aproximan al mismo valor. Para verificar si existía diferencia significativa en los porcentaje de rendimiento de la síntesis de alumbre de potasio,

se realizó se realizó la prueba de intervalos de confianza de Tukey (36, 37), con $\alpha=0.05$.

Tabla XVIII.- Intervalos de confianza de Tukey para los datos de rC del grupo del PVCB restados de los del PVCT.

Cota inferior	Centro	Cota superior
-2.505	-0.850	0.804

Como el intervalo de confianza de Tukey calculado con el software Minitab incluye al cero, se puede concluir que la diferencia entre esas medias no es significativa (36, 37).

4.5 Características del alumbre de potasio sintetizado

4.5.1 Aspecto de la solución

El analito se disolvía por completo en el agua destilada sin dejar residuos visibles. En la figura 4.8 se presenta el aspecto de la solución de algunas de las muestras analizadas.

4.5.2 Identificación por potencial de hidrógeno

A continuación, se presentan las tablas con los valores de pH medidos en las muestras analizadas y con sus estadísticos descriptivos calculados.

Tabla XIX.- Valores de pH para el grupo de PVCT.

i	pH		
	A	B	Promedio
1	3.52	3.49	3.51
2	3.43	3.46	3.45
3	3.45	3.47	3.46
4	4.49	3.44	3.97
5	4.17	4.12	4.15
6	4.06	4.11	4.09

Tabla XX.- Valores de pH para el grupo de PVCB.

i	pH		
	A	B	Promedio
1	3.84	3.89	3.87
2	3.99	3.91	3.95
3	4.08	4.12	4.10
4	4.04	4.06	4.05
5	3.88	3.84	3.86
6	3.90	3.86	3.88

En la tabla XXI podemos ver las medias de los valores de pH. El pH promedio para el grupo del PVCT fue de 3.77; mientras que para el grupo del PVCB fue 3.95. El valor contemplado en las farmacopeas (35-37) para este parámetro está entre 3.0 y 3.5; es decir que se presenta un error fue de 0.27 y 0.45 para los grupos del PVCT y PVCB, respectivamente.

Tabla XXI.- Resumen de estadísticos descriptivos para pH.

Grupo	Media	Varianza	Mínimo	Máximo
PVCT	3.772	0.111	3.450	4.150
PVCB	3.9517	0.0104	3.8600	4.1000

En la figura 4.8 se presentan los datos recolectados y se aprecia que hay una diferencia entre las medias de los grupos. Para verificar si esta diferencia era significativa se realizó la prueba de intervalos de confianza de Tukey.

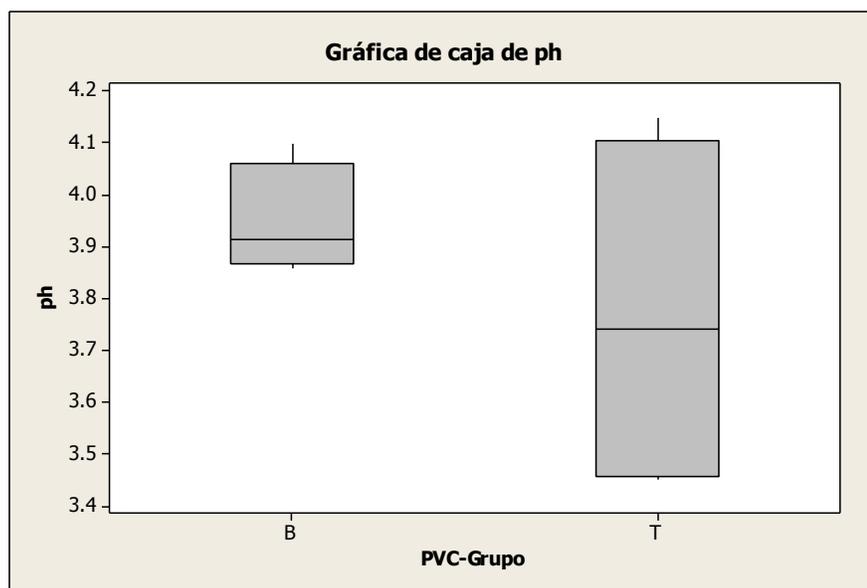


Figura 4.8.- Diagrama de cajas para los datos de pH.

Fuente: Minitab.

En la tabla XXII podemos ver que el intervalo de confianza calculado sí incluye al cero, por lo que podemos decir con un 95% de confianza que no hay una diferencia significativa entre los datos de pH de ambos grupos.

Tabla XXII.- Intervalos de confianza de Tukey para los datos de pH del grupo del PVCB restados de los del PVCT.

Cota inferior	Centro	Cota superior
-0.4964	-0.1800	0.1364

4.5.3 Grado de pureza

En las tablas siguientes se presentan los valores registrados de las variables necesarias para determinar el grado de pureza del analito en las muestras. En la última columna, se presenta el valor promedio de los porcentajes calculados a partir de la ecuación 3.1 (Metodología, p.48).

Tabla XXIII.- Datos de volumetría para las muestras de PVCT.

i	p (g)		v (mL)		H %		
	A	B	A	B	A	B	Promedio
1	0.9104	0.9137	7.1	7.0	93.28	93.46	93.37
2	0.9004	0.9312	7.1	6.5	94.31	94.25	94.28
3	0.9029	0.9277	7.2	6.7	93.52	93.58	93.55
4	0.9192	0.9246	6.8	6.7	93.93	93.89	93.91
5	0.9305	0.9433	6.9	6.6	92.28	92.54	92.41
6	0.9109	0.9016	6.9	7.1	94.27	94.19	94.23

Tabla XXIV.- Datos de volumetría para las muestras de PVCB.

i	p (g)		v (mL)		H %		
	A	B	A	B	A	B	Promedio
1	0.9306	0.9211	6.8	7.0	92.78	92.71	92.74
2	0.9117	0.9162	7.2	7.1	92.62	92.68	92.65
3	0.9181	0.9264	7.1	6.9	92.49	92.69	92.59
4	0.9039	0.9248	7.4	7.0	92.37	92.34	93.35
5	0.9036	0.9063	7.4	7.3	92.40	92.65	92.53
6	0.9286	0.9062	7.0	7.5	91.96	91.61	91.79

En rango de pureza que contemplado en la farmacopea (35-37), para el alumbre de potasio está entre 98 y 105 %. En la tabla XXV

podemos ver que el porcentaje de pureza promedio fue de 92.44 y 93.63% para el grupo del PVCT y PVCB, respectivamente. Es decir, el porcentaje de pureza no es el exigido pero está próximo.

Tabla XXV.- Resumen de estadísticos descriptivos para H

Grupo	Media	Varianza	Mínimo	Máximo
PVCT	92.442	0.119	91.790	92.740
PVCB	93.625	0.485	92.410	94.280

En la figura 4.9, se puede observar mejor que hay una diferencia entre los datos de los grupos trabajados. Para determinar si esta diferencia era significativa se realizó la prueba de intervalos de confianza de Tukey (36, 37).

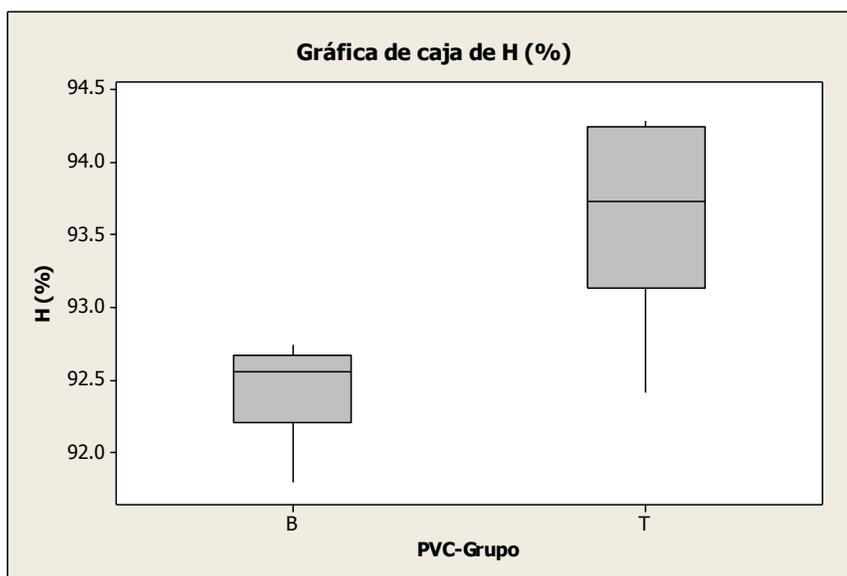


Figura 4.9.- Diagrama de cajas para volumetría.

Fuente: Minitab.

En la tabla XXVI podemos ver que el intervalo calculado no incluye al cero, por lo que podemos decir con un 95% de confianza que sí hay diferencia significativa entre el porcentaje de pureza del alumbre de potasio sintetizado a partir de desechos de blíster con distintos tipos de PVC.

Tabla XXVI.- Intervalos de confianza de Tukey para los datos de volumetría del grupo del PVCB restados de los del PVCT.

Cota inferior	Centro	Cota superior
0.4766	1.1833	1.8901

4.5.4 Presencia de cloruros

Tanto para las muestras analizadas correspondientes al grupo del PVCT, como para las del PVCB, se presentó opalescencia en la solución problema. Los cloruros presentes en las soluciones seguramente provienen del desprendimiento de iones cloruros debido al incremento de temperatura ocurrido durante los ensayos de disolución. Estos iones, pudieron haber reaccionado con los iones potasio de la solución de hidróxido de potasio, y formar cloruro de potasio como subproducto. El aspecto físico del cloruro de potasio es similar al del alumbre de potasio, y ambos son solubles en agua.



Figura 4.10.- Ensayo para la presencia de cloruros. A la derecha se presenta la solución patrón de HCl. La solución problema, a la izquierda, presenta opalescencia pero es más clara que la patrón.

Fuente: Carlo, B.

4.6 Análisis económico

Para la obtención de alumbre de potasio en este estudio se utilizaron los siguientes reactivos: Hidróxido de Aluminio y Ácido Sulfúrico. En Ecuador estos reactivos tienen un costo de \$ 50.40 el kilogramo y \$ 28.00 el recipiente de 2.5 litros, respectivamente (Labomersa S.A., 2013).

En Ecuador, un kilogramo de alumbre de potasio puede ser vendido a \$50.18 (Labomersa S.A., 2013). A partir de los datos obtenidos en este estudio, se realizaron los cálculos de las cantidades necesarias de reactivos para obtener 1000 gramos (1 kg) de alumbre de potasio. En la

tabla XXVI se muestran los resultados; también se muestra la cantidad promedio de PVC recuperada para cada grupo de ensayos.

Tabla XXVII.- Cantidad de materiales necesarios y obtenidos a partir de 1000 g de alumbre

Grupo	Alumbre de potasio (g)	Blíster (g)	H ₂ SO ₄ (mL)	KOH (g)	PVC (g)
PVCT	1000	1812,4972	357,9770	654,8593	1383,8206
PVCB	1000	1377,7109	271,6510	496,9403	1057,8997

El precio del kilogramo de PVC depende de si es rígido o flexible. En Ecuador, el precio de venta al público del kilogramo de PVC rígido es \$3.90, mientras que el del PVC flexible es \$4.23 (Milempro S.A., 2013). Teniendo en cuenta estos precios y los de los reactivos utilizados en los experimentos realizados, se hizo un cálculo de los beneficios económicos que podrían obtenerse de vender alumbre de potasio sintetizado a partir de desechos de blíster. En la tabla XXVII se muestran los resultados obtenidos. Para los cálculos se consideró que los desechos de blíster se comprarían a un dólar el kilogramo, sin tener en cuenta el tipo de PVC del desecho.

Tabla XXVIII.- Valores económicos de los reactivos utilizados y de los productos obtenidos.

Grupo	Alumbre de potasio (\$)	Blíster (\$)	H ₂ SO ₄ (\$)	KOH (\$)	PVC (\$)	Ganancia (\$)
PVCT	+50,18	-1,81	-4,01	-33,00	+5,40	+16,75
PVCB	+50,18	-1,38	-3,04	-25,05	+4,47	+25,18

Si sumamos los valores con signo negativo de la tabla XXVIII, veremos que los materiales para sintetizar un kilogramo de alumbre de potasio costarían \$38.82, si se trabaja con desechos de blíster con PVC rígido (PVCT); y \$29.47, si se trabaja con desechos de blíster con PVC flexible (PVCB). A estos costos, habría que agregar los costos operacionales y el de otros materiales como el agua destilada. Sin esos costos, y vendiendo el kilogramo de alumbre a \$50.18 se obtiene una ganancia de \$16,75 y \$25.18, del alumbre sintetizado a partir de los desechos con blíster de PVCT y PVCB, respectivamente.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. Se logró separar los componentes de las muestras de blíster tomadas de los desperdicios de una industria farmacéutica luego de realizar ensayos de disolución utilizando una solución de hidróxido de potasio.
2. La cantidad de aluminio disuelta en las soluciones obtenidas en los ensayos fue distinta para las muestras con distinto tipo de PVC. Para las del grupo del PVCT fue 8715 mg/L; para las del grupo del PVCB, 11206 mg/L.
3. La temperatura máxima promedio, alcanzada durante los ensayos de disolución de muestras de blíster con PVCT fue de 70.40 °C. El tiempo promedio al cual se alcanzó esta temperatura fue 17.48 minutos.
4. La temperatura máxima promedio, alcanzada durante los ensayos de disolución de muestras de blíster con PVCB fue de 84.67 °C. El tiempo promedio al cual se alcanzó esta temperatura fue 9.98 minutos.

5. El proceso de disolución de las muestras de blíster con PVCB fue aproximadamente 7 minutos más rápido que el de las de PVCT. La temperatura máxima que se alcanzó fue aproximadamente 14 °C más alta en el grupo del PVCB.
6. El porcentaje de recuperación de PVC estuvo entre 87.91% y 92.22% para el grupo del PVCT; y entre 88.28 y 91.56 % para el grupo del PVCB. No hubo diferencia significativa entre el porcentaje de recuperación de PVCT y el de PVCB. Las pérdidas de material ocurrieron debido a que el PVC húmedo se adhiere fácilmente a las superficies.
7. Se detectó la presencia de trazas de aluminio sin disolver en el PVC recuperado a partir de las muestras de blíster. Se detectó mayor número de trazas de aluminio en las muestras del grupo de PVCB, que en las de PVCT.
8. Tanto el PVCB, como el PVCT que fueron recuperados adquirieron imperfecciones en su aspecto luego de los ensayos de disolución de blíster con la solución de hidróxido de potasio. El PVCB adquirió rayones y opacidad; mientras que el PVCT, sólo rayones.

9. Los rendimientos promedio de la síntesis de alumbre de potasio fueron 91.28% para el grupo del PVCT, y 92.13 % para el grupo del PVCB. No hubo diferencia significativa entre las medias de estos grupos.
10. El grado de pureza del alumbre de potasio sintetizado fue de 92.49% para el grupo del PVCT y 93.63% para el grupo del PVCB. Estos valores están cercanos al grado de pureza del alumbre de potasio contemplado en las farmacopeas, el cual está entre 98 y 105%.
11. En los ensayos de identificación por pH, se midió un pH promedio de 3.77 para el alumbre de potasio obtenido de los ensayos con PVCT. Para el grupo del PVCB se midió un pH de 3.95, en promedio. Se presenta un error de 0.27 y 0.45 con el valor contemplado en las farmacopeas para este parámetro. No hubo diferencia significativa en las medias de los distintos grupos para este parámetro.
12. Se detectó la presencia de cloruros en las muestras analizadas de alumbre de potasio, tanto para las correspondientes a PVCT, como para las de PVCB.

5.2 Recomendaciones

1. Diseñar una metodología en la que se mejore el tiempo de disolución de las muestras de blíster con PVCT.
2. Diseñar una metodología en la que se logre una disolución total del aluminio contenido en las muestras de blíster, especialmente para las muestras de blíster con PVCB.
3. Diseñar una metodología de reutilización del PVC recuperado en la disolución de las muestras de blíster, y evaluar las propiedades físicas y mecánicas del polímero obtenido.
4. Realizar ensayos de límite de metales pesados, estaño y cadmio, al alumbre de potasio sintetizado.
5. Comprobar el desempeño del alumbre de potasio obtenido como coagulante y astringente.
6. Realizar ensayos de recristalización por evaporación para mejorar la pureza del alumbre de potasio obtenido.

7. Realizar un análisis de costos para el proceso de reciclaje de aluminio de desechos de blíster a gran escala, considerando montos de instalación y equipos adicionales como destiladores de agua.
8. Realizar un estudio de impacto ambiental del proceso de reciclaje de aluminio de desechos de blíster a gran escala, considerando factores como el agua residual.

ANEXOS

ANEXO A

A.1. Preparación de reactivos para las mediciones de aluminio disuelto en las soluciones obtenidas

a) Solución estándar de aluminio

Pesar con exactitud 0.6341 g de un estándar primario de sulfato de aluminio (USP 1017364) y disolver en un matraz de 200 mL con agua destilada.

b) Tinte de eriocromocianina

Disolver 300 mg del reactivo eriocromocianina en 50 mL de agua destilada. Ajustar el pH a aproximadamente 3, utilizando 2 mL de ácido acético glacial. Enrasar a 100 mL con agua destilada, y de esta solución, tomar 10 mL y volver a enrasar a 100 mL con el mismo solvente.

c) Solución de ácido ascórbico.

Disolver 0.1 g del reactivo ácido ascórbico en 100 mL de agua destilada en un matraz volumétrico.

d) Solución buffer de acetato de sodio

Disolver 136 g de acetato de sodio en 250 mL de agua destilada. A continuación añadir 40 mL de una solución de ácido acético diluído; llevar a un matraz de 1000 mL y enrasar con agua destilada. La solución de ácido acético diluído se preparó disolviendo 12 g de ácido acético glacial en 100 mL con agua destilada

e) Solución de H_2SO_4 0.02 N

Adicionar 5.5 mL de H_2SO_4 concentrado en 60 mL de agua destilada y enrasar a 100 mL con el mismo solvente. Tomar 10 mL de esta solución y llevarlos a un matraz de 1000 mL; enrasar con agua destilada

f) Solución indicadora de naranja de metilo

Disolver 0.1 g del reactivo de naranja de metilo en 80 mL de agua destilada y adicionar 100 mL de etanol.

g) Solución de EDTA 0.01M

Disolver 3.7 g del reactivo etilendiaminotetracetato sódico EDTA en un matraz volumétrico con 1000 mL de agua destilada.

A.2. Preparación de reactivos para los ensayos de grado de pureza

a) Solución de etilendiaminotetracetato sódico (EDTA) 0.05 M

El peso molecular del EDTA es 373.26 g/mol. Para preparar una solución 0.05 M de este compuesto se disolvieron 18.66 g de EDTA en agua destilada y se completaron hasta 1000 mL.

b) Solución de acetato amónico y ácido acético diluido

Esta es una solución de volúmenes iguales de acetato amónico del 15.5% m/V y de ácido acético diluido.

- Ácido acético diluido

Tomar 12 g de ácido acético glacial y completar hasta 100 mL con agua destilada

- Solución de acetato amónico.

Disolver 15 g de acetato de amonio en 100 mL de agua destilada.

Añadir 3 mL de ácido acético glacial y completar hasta 1 mL con agua destilada. Esta disolución se conserva durante una semana.

c) Solución valorada de ditizona del 0.025% m/V en etanol

Añadir 1.25 g de ditizona a 50 mL de agua destilada.

Esta solución se debe conservar refrigerada y en un frasco ámbar para proteger de la luz.

d) Solución valorada de sulfato de cinc 0.05 M

El peso molecular del sulfato de cinc es 161.54 g/mol. Para preparar una solución 0.05 M de este compuesto se disolvieron 8.077 g de sulfato de cinc en agua destilada y se completó hasta 1000 mL.

e) Reactivo de tioacetamida

Preparar una solución de 4g de tioacetamida en 100 mL de agua destilada. Tomar 0.2 mL de esta solución y añadirle 1 mL de una mezcla de 5 mL de agua destilada, 15 mL de NaOH 1M y 20 mL de glicerol. Calentar en un baño de agua durante 20 segundos. Mantener en refrigeración cuando no esté en uso.

f) Solución amortiguadora de acetato de amonio (pH 3.5)

Disolver 25 g de acetato de amonio en 25 mL de agua y agregar 38 mL de ácido clorhídrico 6N. Ajustar, si fuera necesario, con hidróxido de

amonio 6N o ácido clorhídrico 6N hasta un pH de 3.5. Diluir con agua hasta 100 mL y mezclar.

A.3. Preparación de reactivos para el ensayo de identificación de cloruros

a) Solución de AgNO_3 0.1 N

Disolver en agua destilada, 1.6987 g de nitrato de plata y completar hasta 100 mL con el mismo disolvente.

b) Solución patrón de HCl 0.003 M

Añadir 0.001 de ácido clorhídrico en 1000 mL de agua destilada.

ANEXO B

B.1. Curva de calibración para los ensayos en el espectrofotómetro.

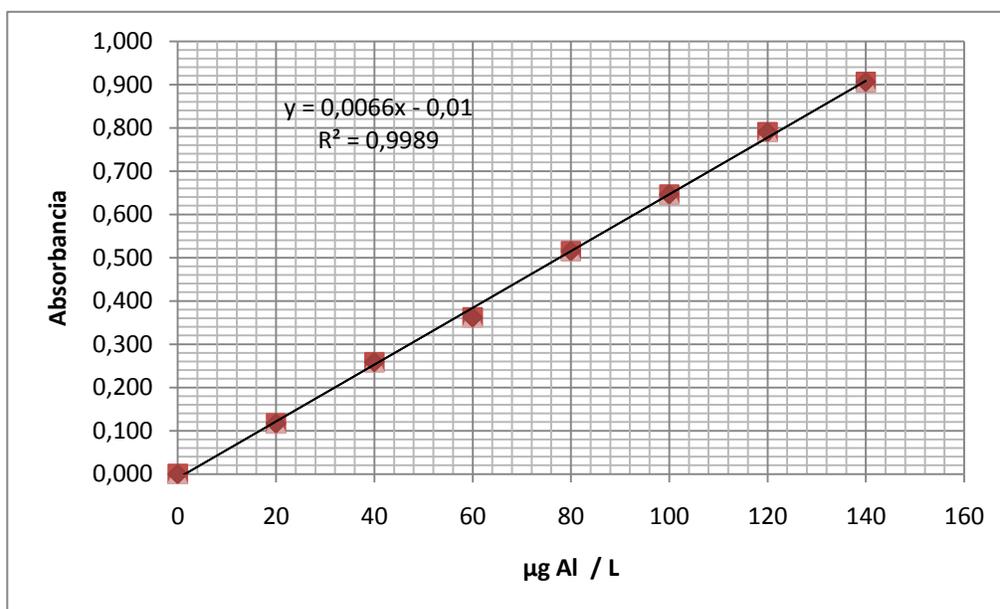


Figura B.1.- Curva de calibración para absorbancia de aluminio.

Fuente: Carlo, B.

Tabla B.1.- Puntos graficados en la curva

$\mu\text{g Al / L}$	Absorbancia
0	0.000
20	0.117
40	0.259
60	0.362
80	0.515
100	0.646
120	0.790
140	0.906

ANEXO C

C.1 Datos de tiempo y temperatura recolectados durante la disolución de las muestras de blíster de PVCT.

Tabla XXIX.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 1, de la disolución de las muestras de blíster de PVCT.

T(°C)	27	28	29	30	31	32	33	34	35
ti(min)	01:42	02:36	03:04	03:43	04:26	05:10	05:51	06:09	06:39
T(°C)	36	37	38	39	40	41	42	43	44
ti(min)	07:00	07:25	08:07	08:31	08:43	08:59	09:19	09:36	09:54
T(°C)	45	46	47	48	49	50	51	52	54
ti(min)	10:05	10:18	10:37	10:51	11:06	11:15	11:35	11:46	12:06
T(°C)	55	56	57	58	59	60	61	62	63
ti(min)	12:12	12:27	12:40	12:51	12:59	13:11	13:16	13:24	13:47
T(°C)	64	65	66	67	68	69	*70	69	68
ti(min)	13:59	14:13	14:29	14:43	14:53	15:51	*16:22	16:43	16:52
T(°C)	67	66	65						
ti(min)	17:05	17:22	17:47						

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla XXX.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 2, de la disolución de las muestras de blíster de PVCT.

T(°C)	26	27	28	29	30	31	32	33	34
ti(min)	01:12	01:28	01:51	02:14	02:36	03:22	03:45	04:07	04:30
T(°C)	35	36	38	39	40	42	43	44	45
ti(min)	04:53	05:16	05:38	06:01	06:24	10:12	10:46	11:11	11:06
T(°C)	46	47	48	49	50	51	52	53	54
ti(min)	11:21	11:48	11:58	12:13	12:24	12:46	13:01	13:18	13:41
T(°C)	55	56	57	58	59	60	61	62	63
ti(min)	14:04	14:50	15:13	15:17	16:00	16:23	16:46	17:09	17:32
T(°C)	64	65	*66	65	64	63	62	61	60
ti(min)	17:55	18:18	*18:40	19:06	19:28	19:51	20:14	20:37	21:00

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla XXXI.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 3 de la disolución de las muestras de blíster de PVCT.

T(°C)	27	28	29	30	31	32	33	34	35
ti(min)	01:37	02:26	02:56	03:13	03:53	04:23	04:55	05:29	05:54
T(°C)	36	37	38	39	40	41	42	43	44
ti(min)	06:23	06:57	07:25	07:58	08:22	08:54	09:10	09:23	09:48
T(°C)	45	46	47	48	49	50	51	52	53
ti(min)	10:02	10:11	10:21	10:34	10:50	11:02	11:29	11:49	12:04
T(°C)	54	55	56	57	58	59	60	61	62
ti(min)	12:20	12:50	13:03	13:19	13:55	14:05	14:22	14:37	13:55
T(°C)	63	64	65	66	67	68	69	*70	69
ti(min)	15:06	15:19	15:22	15:44	15:55	16:12	16:30	*17:03	17:30

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla XXXII.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 4, de la disolución de las muestras de blíster de PVCT.

T(°C)	27	28	29	30	31	32	33	34	35
ti(min)	02:20	02:56	03:32	04:08	04:42	05:20	05:56	06:32	07:08
T(°C)	36	37	38	39	40	41	42	43	44
ti(min)	07:44	08:20	08:26	09:18	10:10	10:15	10:33	10:49	11:13
T(°C)	45	46	47	48	49	50	51	52	53
ti(min)	11:22	11:41	12:01	12:17	12:35	12:52	13:09	13:27	13:44
T(°C)	54	55	56	57	58	59	60	61	62
ti(min)	14:02	14:19	14:36	14:54	15:11	15:26	15:46	16:03	16:20
T(°C)	63	64	65	66	67	*68	67	66	65
ti(min)	16:38	16:55	17:12	17:30	17:47	*18:01	18:59	20:02	20:48

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla XXXIII.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 5, de la disolución de las muestras de blíster de PVCT.

T(°C)	26	27	28	29	30	31	32	33	34
ti(min)	01:52	03:26	04:20	05:49	05:57	06:33	07:17	07:45	08:01
T(°C)	35	36	37	38	39	40	41	42	43
ti(min)	08:46	09:58	10:14	10:30	10:43	10:50	11:01	11:08	11:25
T(°C)	44	45	46	47	48	49	50	51	52
ti(min)	11:43	12:01	12:10	12:19	12:37	12:55	13:12	13:30	13:48
T(°C)	53	54	55	56	57	58	59	60	61
ti(min)	13:54	14:10	14:17	14:27	14:41	14:54	15:09	15:20	15:46

T(°C)	62	63	64	65	66	*67	66	65	
ti(min)	16:06	16:22	16:39	16:57	17:16	*17:36	18:15	19:21	

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla XXXIV.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 6, de la disolución de las muestras de blíster de PVCT.

T(°C)	26	27	28	29	30	31	32	33	34
ti(min)	03:06	04:44	05:49	07:00	07:48	08:41	09:18	10:05	10:37
T(°C)	35	36	37	38	39	40	41	42	43
ti(min)	11:19	11:45	12:19	12:44	13:16	13:38	14:02	14:25	14:44
T(°C)	44	45	46	47	48	49	50	51	52
ti(min)	15:01	15:25	15:42	15:53	16:06	16:22	16:36	16:49	17:01
T(°C)	53	54	55	56	57	58	59	60	61
ti(min)	17:17	17:29	17:47	17:56	18:20	18:36	18:46	19:06	19:19
T(°C)	63	64	66	*67	66	65	64	63	
ti(min)	19:34	19:42	20:10	*20:34	21:24	22:03	22:34	23:04	

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla XXXV.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 6, de la disolución de las muestras de blíster de PVCT.

T(°C)	26	27	28	29	30	31	32	33	34
ti(min)	01:00	02:25	03:19	04:30	05:07	05:55	07:02	07:43	08:10
T(°C)	35	36	37	38	39	40	41	42	43
ti(min)	08:47	09:13	09:37	10:10	10:30	10:44	11:06	11:25	11:43
T(°C)	44	45	46	48	50	52	53	54	55
ti(min)	12:01	12:27	12:44	13:11	13:31	14:03	14:18	14:33	14:47
T(°C)	56	57	58	60	61	62	63	64	65
ti(min)	15:01	15:20	15:29	15:53	16:05	16:16	16:28	16:36	17:04
T(°C)	66	67	68	69	*70	69	68	67	66
ti(min)	17:17	17:31	17:44	18:19	*19:00	19:39	19:57	20:16	20:39

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla XXXVI.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 8, de la disolución de las muestras de blíster de PVCT.

T(°C)	26	27	28	29	30	31	32	33	34
ti(min)	01:12	03:39	05:56	07:24	08:26	10:10	11:37	12:40	13:22
T(°C)	35	36	37	38	39	40	41	42	43
ti(min)	14:13	14:57	15:47	16:25	17:04	17:42	18:31	19:01	19:52

T(°C)	44	45	46	47	48	49	50	52	53
ti(min)	20:18	20:43	21:12	21:37	21:57	22:25	22:51	23:36	24:05
T(°C)	54	55	56	57	58	59	60	61	*60
ti(min)	24:36	25:07	25:42	26:18	26:50	27:36	28:45	30:37	*31:33
T(°C)	59	58							
ti(min)	32:10	32:45							

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla XXXVII.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 9, de la disolución de las muestras de blíster de PVCT.

T(°C)	27	28	29	30	31	32	33	34	35
ti(min)	00:37	01:28	03:50	05:13	06:10	06:52	08:10	08:46	07:49
T(°C)	36	37	38	39	40	41	42	43	45
ti(min)	10:20	10:48	11:18	11:50	12:21	12:53	13:26	13:47	14:22
T(°C)	46	47	48	49	50	52	54	55	56
ti(min)	14:49	15:20	15:46	16:07	16:36	15:06	17:07	17:25	17:35
T(°C)	57	58	59	60	61	62	63	64	65
ti(min)	17:50	18:04	18:29	18:44	19:05	19:19	19:43	19:58	20:51
T(°C)	66	66	*67	66	65				
ti(min)	21:00	21:22	*22:22	22:53	23:53				

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla XXXVIII.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 10, de la disolución de las muestras de blíster de PVCT.

T(°C)	25	26	27	28	29	30	31	32	33
ti(min)	01:20	02:10	03:21	04:28	05:37	06:26	07:15	07:54	08:44
T(°C)	34	35	36	37	38	39	40	41	42
ti(min)	09:04	10:09	10:19	10:49	11:15	11:36	12:02	12:24	12:37
T(°C)	43	44	45	46	47	48	49	50	51
ti(min)	13:04	13:29	13:47	14:00	14:21	14:33	14:52	15:06	15:19
T(°C)	52	53	56	57	58	59	60	61	62
ti(min)	15:29	15:40	16:16	16:40	16:55	17:12	17:26	17:40	18:00
T(°C)	63	64	65	66	67	68	*69	68	67
ti(min)	18:20	18:40	18:47	19:00	19:31	19:41	*19:52	20:43	21:02

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla XXXIX.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 11, de la disolución de las muestras de blíster de PVCT.

T(°C)	27	28	29	30	31	32	33	34	35
ti(min)	03:48	04:59	06:04	06:53	07:46	08:29	09:37	09:56	10:21
T(°C)	36	37	38	39	40	41	42	43	44
ti(min)	10:53	11:17	11:32	11:57	12:09	12:41	12:58	13:11	13:23
T(°C)	45	46	48	49	50	51	52	53	54
ti(min)	13:47	14:02	14:22	14:37	15:08	15:17	15:22	15:28	15:43
T(°C)	55	56	57	58	59	60	61	62	63
ti(min)	15:51	15:58	16:03	16:10	16:15	16:29	16:34	16:41	17:03
T(°C)	64	66	67	68	70	72	73	74	75
ti(min)	17:15	17:26	17:39	17:49	18:11	18:29	18:38	18:54	19:04
T(°C)	*76	75	74	73	72	71	70		
ti(min)	*19:20	19:52	20:07	20:26	20:41	21:09	21:27		

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla XL.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 12, de la disolución de las muestras de blíster de PVCT.

T(°C)	28	29	30	31	32	33	34	35	36
ti(min)	03:34	05:40	06:29	07:39	08:20	09:02	09:23	09:56	10:18
T(°C)	37	38	39	40	41	42	43	44	45
ti(min)	10:47	11:13	11:55	12:12	12:31	12:53	12:53	13:06	13:20
T(°C)	46	47	48	49	50	51	52	53	54
ti(min)	13:36	13:46	13:52	14:06	14:48	14:26	14:34	14:49	15:01
T(°C)	56	57	58	59	60	61	62	63	64
ti(min)	15:19	15:26	15:50	16:07	16:27	16:20	16:38	16:54	17:04
T(°C)	66	67	68	69	70	71	72	73	*74
ti(min)	17:14	17:22	17:37	17:49	18:00	18:24	18:28	18:39	*18:54
T(°C)	73	72	71	70					
ti(min)	19:27	20:13	20:33	20:51					

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla XLI.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 13, de la disolución de las muestras de blíster de PVCT.

T(°C)	28	29	30	31	32	33	34	35	36
ti(min)	04:20	05:14	06:17	06:55	07:31	07:56	08:21	09:01	09:46
T(°C)	37	38	39	40	41	42	43	44	45
ti(min)	10:09	10:39	10:56	11:17	11:51	12:03	12:15	12:33	12:48
T(°C)	46	47	48	49	50	51	52	53	54
ti(min)	12:59	13:08	13:17	13:27	13:40	14:07	14:13	14:20	14:25
T(°C)	55	56	57	58	59	60	61	62	63
ti(min)	14:35	14:39	14:47	14:57	15:16	15:23	15:39	15:46	15:52
T(°C)	64	65	66	67	68	69	70	72	73
ti(min)	16:00	16:14	16:17	16:24	16:43	16:59	17:04	17:18	17:31
T(°C)	75	76	77	*78	77	76	75	74	73
ti(min)	17:44	17:54	18:07	*18:20	18:59	19:17	19:34	20:00	20:10

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla XLII.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 14, de la disolución de las muestras de blíster de PVCT.

T(°C)	27	28	29	30	31	32	33	34	35
ti(min)	01:56	03:23	04:29	05:19	06:14	06:45	07:40	07:59	08:13
T(°C)	36	37	38	39	40	41	42	43	44
ti(min)	08:51	09:15	09:27	10:29	10:53	11:01	11:07	11:52	12:09
T(°C)	45	46	47	48	49	50	51	52	53
ti(min)	12:20	12:37	12:53	13:08	13:20	13:31	13:37	13:50	14:01
T(°C)	54	55	56	57	58	59	60	61	62
ti(min)	14:05	14:14	14:22	14:33	14:40	14:47	15:00	15:11	15:19
T(°C)	63	64	65	66	67	68	69	70	72
ti(min)	15:28	15:36	15:49	15:58	16:07	16:13	16:26	16:34	16:55
T(°C)	73	74	75	*76	75	74	73	72	71
ti(min)	17:06	17:12	17:26	*17:40	18:25	18:39	18:58	19:17	19:36

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla XLIII.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 15, de la disolución de las muestras de blíster de PVCT.

T(°C)	27	28	29	30	31	32	33	34	45
ti(min)	01:02	02:13	03:27	04:44	05:15	05:53	06:33	07:04	07:36
T(°C)	36	37	38	39	40	41	42	43	44
ti(min)	08:01	08:28	08:44	09:16	09:36	09:57	10:14	10:31	10:48

T(°C)	45	46	47	48	49	50	52	53	54
ti(min)	11:07	11:20	11:32	11:45	11:56	12:07	12:27	12:37	12:45
T(°C)	55	57	58	59	60	62	63	64	65
ti(min)	12:56	13:12	13:21	13:27	13:35	13:50	13:59	14:04	14:13
T(°C)	66	67	68	69	70	71	72	73	74
ti(min)	14:20	14:30	14:35	14:43	14:49	14:59	15:04	15:12	15:20
T(°C)	75	76	*77	76	74	73	72	71	70
ti(min)	15:25	15:35	*15:50	16:13	16:39	17:02	17:16	17:37	17:54

*Temperatura máxima alcanzada

C.2 Datos de tiempo y temperatura recolectados durante la disolución de las muestras de blíster de PVCB.

Tabla XLIV.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 1, de la disolución de las muestras de blíster de PVCB.

T(°C)	27	28	29	30	31	32	33	34	35
ti(min)	01:26	01:42	01:58	02:13	02:27	02:44	03:01	03:12	03:29
T(°C)	36	37	38	39	40	41	42	43	44
ti(min)	03:47	04:05	04:19	04:34	04:53	05:10	05:35	05:59	06:14
T(°C)	45	46	47	48	49	50	51	52	53
ti(min)	06:26	06:49	07:14	07:34	07:54	08:09	08:14	08:20	08:29
T(°C)	55	56	57	58	60	62	64	65	67
ti(min)	08:39	08:41	08:55	09:01	09:06	09:11	09:13	09:15	09:17
T(°C)	68	69	70	71	72	73	74	76	77
ti(min)	09:20	09:24	09:30	09:46	09:58	10:07	10:15	10:19	10:23
T(°C)	78	79	80	81	82	83	84	85	86
ti(min)	10:29	10:26	10:35	10:48	10:51	11:09	11:17	11:25	11:34
T(°C)	*87	86	85						
ti(min)	*11:40	11:51	12:03						

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla XLV.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 2, de la disolución de las muestras de blíster de PVCB.

T(°C)	27	28	29	30	31	32	33	34	35
ti(min)	01:31	01:47	02:03	02:18	02:34	02:50	03:05	03:21	03:44
T(°C)	37	38	39	40	41	42	43	44	45
ti(min)	04:02	04:19	04:31	04:55	05:14	05:26	05:42	05:53	06:13
T(°C)	46	47	48	49	50	51	52	54	56

ti(min)	06:29	06:44	07:00	07:16	07:31	07:47	07:50	07:56	08:01
T(°C)	58	59	60	61	62	63	65	67	68
ti(min)	08:07	08:10	08:13	08:16	08:19	08:21	08:27	08:33	08:36
T(°C)	69	70	71	72	73	74	75	76	78
ti(min)	08:39	08:42	08:45	08:49	08:55	08:59	09:05	09:11	09:24
T(°C)	80	81	82	83	84	84	*85	84	83
ti(min)	09:34	09:40	09:46	09:52	09:58	10:05	*10:12	10:18	10:25

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla XLVI.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 3, de la disolución de las muestras de blíster de PVCB.

T(°C)	28	29	30	31	32	33	34	35	36
ti(min)	02:48	03:26	03:53	04:11	04:57	04:59	05:22	05:57	06:10
T(°C)	37	38	39	40	41	42	43	44	45
ti(min)	06:33	06:45	06:53	07:00	07:11	07:21	07:26	07:31	07:37
T(°C)	46	47	48	49	50	51	52	53	54
ti(min)	07:42	07:47	07:52	07:57	08:02	08:08	08:13	08:18	08:23
T(°C)	55	56	57	59	61	63	64	66	68
ti(min)	08:28	08:33	08:39	08:44	08:49	08:54	08:59	09:04	09:10
T(°C)	69	70	71	72	74	75	76	77	78
ti(min)	09:19	09:25	09:29	09:35	09:41	09:46	09:53	10:01	10:06
T(°C)	79	80	81	82	83	84	85	*86	85
ti(min)	10:15	10:24	10:40	10:49	11:04	11:16	11:20	*11:34	11:54

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla XLVII.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 4, de la disolución de las muestras de blíster de PVCB.

T(°C)	28	29	30	31	32	33	34	35	36
ti(min)	03:19	03:42	04:03	04:25	04:46	05:08	05:29	05:52	06:12
T(°C)	37	38	39	40	41	42	43	44	45
ti(min)	06:33	06:55	07:16	07:38	07:59	08:21	08:29	08:37	08:42
T(°C)	46	47	48	49	50	51	52	53	54
ti(min)	08:50	09:02	09:10	09:21	09:28	09:38	09:46	09:55	09:57
T(°C)	55	56	57	58	59	60	61	62	63
ti(min)	10:01	10:03	10:07	10:10	10:13	10:16	10:19	10:22	10:25
T(°C)	64	65	66	67	68	69	70	71	72
ti(min)	10:28	10:32	10:35	10:38	10:41	10:44	10:47	10:50	10:53
T(°C)	73	74	75	76	77	79	80	81	82
ti(min)	10:56	11:00	11:03	11:06	11:09	11:12	11:15	11:18	11:21

T(°C)	83	84	85	*86	85				
ti(min)	11:25	11:28	11:31	*11:46	12:04				

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla XLVIII.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 5, de la disolución de las muestras de blíster de PVCB.

T(°C)	28	29	30	31	32	33	34	35	36
ti(min)	03:44	04:04	04:24	04:43	05:03	05:23	05:40	06:01	06:21
T(°C)	37	38	39	40	41	42	43	44	45
ti(min)	07:03	07:22	07:36	07:48	07:56	08:05	08:13	08:22	08:30
T(°C)	46	47	48	49	50	51	52	53	54
ti(min)	08:39	08:47	08:56	09:09	09:13	09:17	09:21	09:25	09:29
T(°C)	55	56	57	58	59	61	62	63	64
ti(min)	09:33	09:37	09:40	09:44	09:48	09:53	09:56	10:00	10:03
T(°C)	65	66	67	68	69	70	71	73	74
ti(min)	10:08	10:10	10:14	10:19	10:25	10:29	10:35	10:47	10:50
T(°C)	75	76	77	78	79	80	81	82	83
ti(min)	10:57	11:02	11:09	11:14	11:20	11:25	11:29	11:37	11:42
T(°C)	84	*85							
ti(min)	11:48	*11:53							

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla XLIX.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 6, de la disolución de las muestras de blíster de PVCB.

T(°C)	28	29	30	31	32	33	34	35	36
ti(min)	01:31	01:43	02:03	02:15	02:34	02:59	03:11	03:21	03:36
T(°C)	37	38	39	40	41	42	43	44	45
ti(min)	03:54	04:08	04:23	04:39	05:10	05:26	05:42	05:57	06:13
T(°C)	46	47	48	49	50	51	52	53	54
ti(min)	06:20	06:27	06:40	06:52	07:03	07:14	07:26	07:31	07:36
T(°C)	55	56	57	60	61	62	63	65	67
ti(min)	07:40	07:43	07:45	07:50	07:53	07:59	08:02	08:06	08:09
T(°C)	69	70	72	73	74	75	76	77	78
ti(min)	08:14	08:19	08:22	08:25	08:28	08:31	08:35	08:41	08:47
T(°C)	79	80	81	82	*83	82	81	80	
ti(min)	08:55	09:11	09:23	09:31	*09:46	09:52	10:00	10:19	

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla L.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 7, de la disolución de las muestras de blíster de PVCB.

T(°C)	28	29	30	31	32	33	34	35	36
ti(min)	01:42	02:23	03:05	03:24	03:58	04:09	04:31	04:52	05:14
T(°C)	37	38	39	40	41	42	43	44	45
ti(min)	05:37	05:55	06:18	06:30	06:42	06:53	07:05	07:28	07:46
T(°C)	46	47	48	49	50	51	52	53	54
ti(min)	07:54	08:04	08:07	08:11	08:14	08:18	08:21	08:25	08:28
T(°C)	55	56	57	58	59	60	62	64	66
ti(min)	08:35	08:39	08:43	08:46	08:54	08:57	09:01	09:09	09:13
T(°C)	67	68	69	70	71	73	75	77	78
ti(min)	09:17	09:21	09:26	09:30	09:34	09:39	09:43	09:47	09:51
T(°C)	79	80	81	82	*83	82			
ti(min)	09:56	10:00	10:09	10:14	*10:43	11:01			

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla LI.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 8, de la disolución de las muestras de blíster de PVCB.

T(°C)	28	29	30	31	32	33	34	35	36
ti(min)	03:49	04:24	04:43	05:03	05:23	05:43	06:02	06:22	06:42
T(°C)	37	38	39	40	41	42	43	44	45
ti(min)	06:56	07:09	07:22	07:39	07:47	07:56	08:04	08:13	08:21
T(°C)	46	47	48	49	50	51	52	53	54
ti(min)	08:30	08:38	08:47	08:55	09:04	09:09	09:12	09:13	09:19
T(°C)	55	56	57	58	59	60	61	62	63
ti(min)	09:21	09:26	09:29	09:33	09:37	09:41	09:45	09:53	09:57
T(°C)	64	65	66	67	68	69	70	71	72
ti(min)	10:01	10:05	10:09	10:13	10:17	10:21	10:25	10:19	10:35
T(°C)	73	74	75	76	77	78	79	80	81
ti(min)	10:40	10:46	10:51	10:57	11:03	11:08	11:14	11:20	11:25
T(°C)	82	83	84	*85	84				
ti(min)	11:31	11:37	11:42	*11:47	12:02				

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla LII.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 9, de la disolución de las muestras de blíster de PVCB.

T(°C)	30	31	32	33	34	35	36	37	38
ti(min)	02:23	02:55	03:26	03:48	04:09	04:32	04:51	05:14	05:37

T(°C)	39	40	41	42	43	44	45	46	47
ti(min)	05:55	06:08	06:19	06:23	06:28	06:33	06:36	06:40	06:42
T(°C)	48	49	50	51	52	53	54	55	56
ti(min)	06:45	06:50	06:58	07:04	07:09	07:13	07:16	07:23	07:27
T(°C)	57	58	59	60	61	63	64	65	66
ti(min)	07:35	07:41	07:49	08:02	08:13	08:19	08:26	08:31	08:33
T(°C)	67	68	69	70	71	72	73	74	75
ti(min)	08:47	08:56	09:01	09:06	09:13	09:19	09:27	09:30	09:36
T(°C)	76	77	78	79	80	81	82	83	*84
ti(min)	09:43	09:47	09:53	10:03	10:10	10:17	10:23	10:29	*10:48
T(°C)	83	82	81						
ti(min)	10:59	11:06	11:12						

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla LIII.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 10, de la disolución de las muestras de blíster de PVCB.

T(°C)	28	30	33	34	35	36	38	40	42
ti(min)	03:42	04:01	04:19	04:38	04:56	05:15	05:34	05:52	06:11
T(°C)	43	35	37	39	50	51	53	55	56
ti(min)	06:29	06:48	07:06	07:16	07:24	07:31	07:39	07:46	07:53
T(°C)	57	58	59	60	61	63	64	65	66
ti(min)	08:01	08:08	08:16	08:20	08:24	08:31	08:34	08:37	08:41
T(°C)	67	68	69	71	73	75	77	79	80
ti(min)	08:44	08:48	08:51	08:58	09:05	09:12	09:19	09:25	09:29
T(°C)	81	82	84	85	86	85	84	83	
ti(min)	09:32	09:36	09:39	09:42	09:53	10:06	10:15	10:24	

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla LIV.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 11, de la disolución de las muestras de blíster de PVCB.

T(°C)	30	31	32	33	34	35	36	37	38
ti(min)	03:33	04:09	04:37	05:03	05:22	05:45	06:03	06:22	06:35
T(°C)	39	40	41	42	43	44	45	46	47
ti(min)	06:54	07:08	07:19	07:30	07:40	07:48	08:03	08:12	08:20
T(°C)	48	49	50	52	54	55	56	58	59
ti(min)	08:23	08:34	08:38	08:49	08:57	09:05	09:10	09:15	09:21
T(°C)	60	62	64	65	70	71	73	74	76
ti(min)	09:26	09:31	09:36	09:48	09:55	10:03	10:08	10:12	10:23
T(°C)	77	79	80	82	83	*84	83	82	81

ti(min)	10:29	10:37	10:47	10:56	11:04	*11:10	11:40	12:01	12:24
---------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	-------	-------	-------

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla LV.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 12, de la disolución de las muestras de blíster de PVCB.

T(°C)	37	38	41	48	50	54	56	61	64
ti(min)	04:16	04:40	05:16	06:09	06:18	06:34	06:44	07:01	07:11
T(°C)	65	70	73	78	80	82	84	85	86
ti(min)	07:19	07:30	07:40	07:58	08:05	08:16	08:23	08:32	08:38
T(°C)	*87	86	85	84	83	80	79	78	77
ti(min)	*08:48	10:03	10:23	10:43	11:10	12:02	12:13	12:50	13:19

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla LVI.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 13, de la disolución de las muestras de blíster de PVCB.

T(°C)	30	31	33	35	36	38	41	42	44
ti(min)	01:09	01:39	01:54	02:18	02:54	03:16	04:43	04:55	05:10
T(°C)	45	47	48	50	51	52	54	58	60
ti(min)	05:22	05:30	05:36	05:42	05:46	05:51	05:57	06:07	06:14
T(°C)	61	62	64	66	68	70	72	74	75
ti(min)	06:19	06:22	06:25	06:28	06:35	06:41	06:46	06:54	07:03
T(°C)	76	78	80	81	83	*84	83	82	81
ti(min)	07:07	07:28	07:33	07:47	08:00	*08:08	08:56	09:12	09:28

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla LVII.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 14, de la disolución de las muestras de blíster de PVCB.

T(°C)	28	29	30	31	32	33	34	35	36
ti(min)	01:05	03:08	03:40	04:12	04:31	04:54	05:09	05:13	05:23
T(°C)	37	38	39	40	41	42	44	45	46
ti(min)	05:34	05:43	05:56	06:03	06:14	06:19	06:29	06:33	06:37
T(°C)	47	48	49	50	51	52	54	55	56
ti(min)	06:41	06:51	06:55	07:00	07:10	07:14	07:18	07:25	07:27
T(°C)	57	58	62	63	65	66	70	72	74
ti(min)	07:31	07:35	07:44	07:47	07:52	07:49	08:06	08:11	08:16
T(°C)	76	78	79	80	81	82	83	*84	83
ti(min)	08:26	08:32	09:02	09:07	09:19	09:24	09:37	*09:46	10:13
T(°C)	82	81	80	78	77	76	75	74	73
ti(min)	10:33	10:57	11:12	11:47	12:05	12:24	12:47	13:03	13:27

*Temperatura máxima alcanzada

Tabla LVIII.- Datos de tiempo y temperatura recolectados en el ensayo 15, de la disolución de las muestras de blíster de PVCB.

T(°C)	29	30	31	32	33	34	35	36	37
ti(min)	01:17	02:04	03:05	03:39	03:59	04:17	04:48	04:57	05:08
T(°C)	38	41	42	43	44	47	48	50	51
ti(min)	05:29	05:59	06:11	06:26	06:32	06:41	06:54	07:03	07:08
T(°C)	52	54	55	56	58	60	62	64	66
ti(min)	07:13	07:19	07:25	07:31	07:37	07:44	07:51	07:58	08:03
T(°C)	67	70	72	73	74	76	77	78	80
ti(min)	08:07	08:14	08:28	08:32	08:37	08:43	08:56	09:10	09:17
T(°C)	81	82	*83	81	80	79	77	77	76
ti(min)	09:38	09:53	*10:03	10:51	11:13	11:28	11:40	11:59	12:21
T(°C)	74	73	72	71	70				
ti(min)	13:17	13:37	13:49	14:25	14:33				

*Temperatura máxima alcanzada

ANEXO D

D.1 Representaciones gráficas de los datos presentados en el Anexo C.1. Fuente: Microsoft Excel.

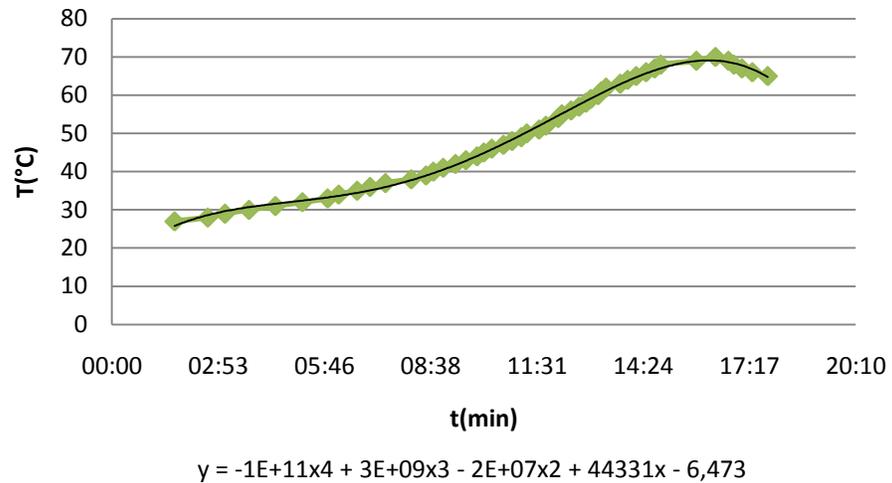


Figura D.1.1.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 1, de la disolución de las muestras de PVCT.

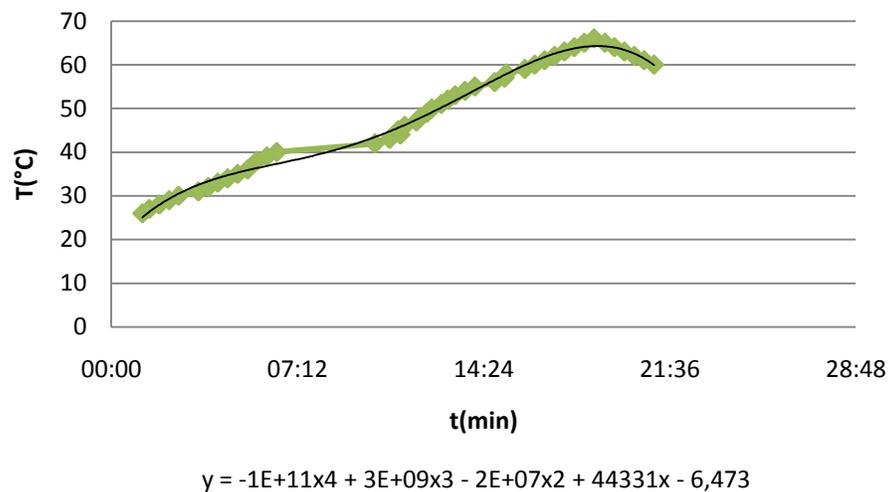
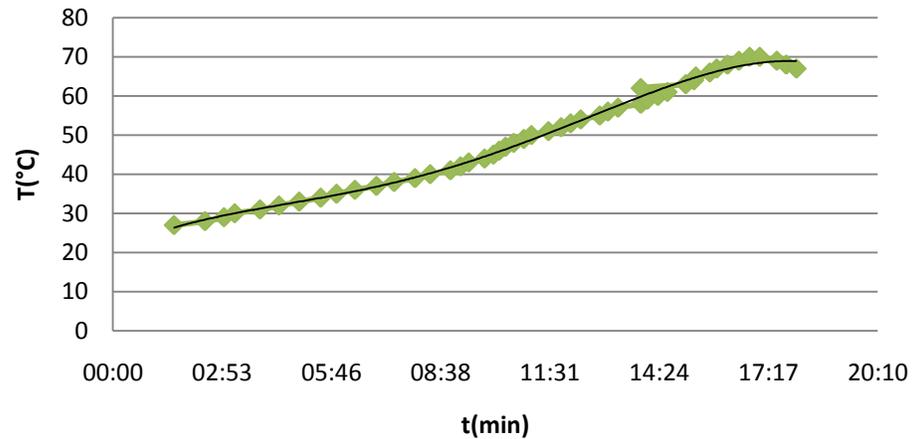
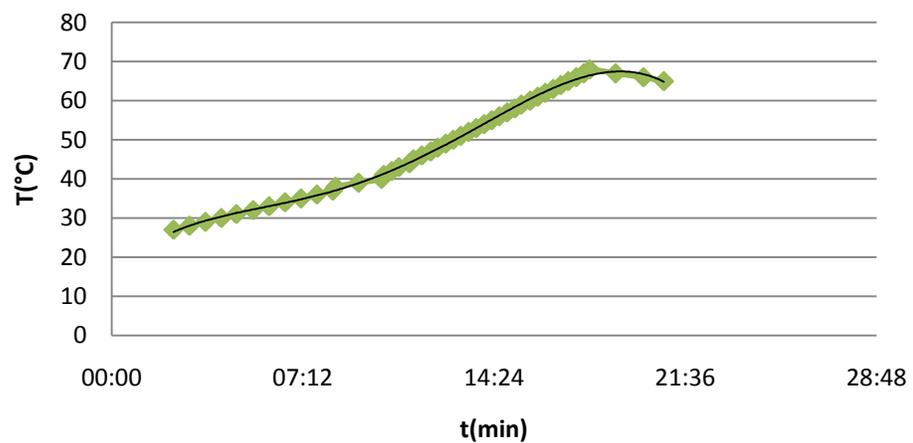


Figura D.1.2.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 2, de la disolución de las muestras de PVCT.



$$y = -1E+11x^4 + 3E+09x^3 - 2E+07x^2 + 44331x - 6,473$$

Figura D.1.3.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 3, de la disolución de las muestras de PVCT.



$$y = -1E+11x^4 + 3E+09x^3 - 2E+07x^2 + 44331x - 6,473$$

Figura D.1.4.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 4, de la disolución de las muestras de PVCT.

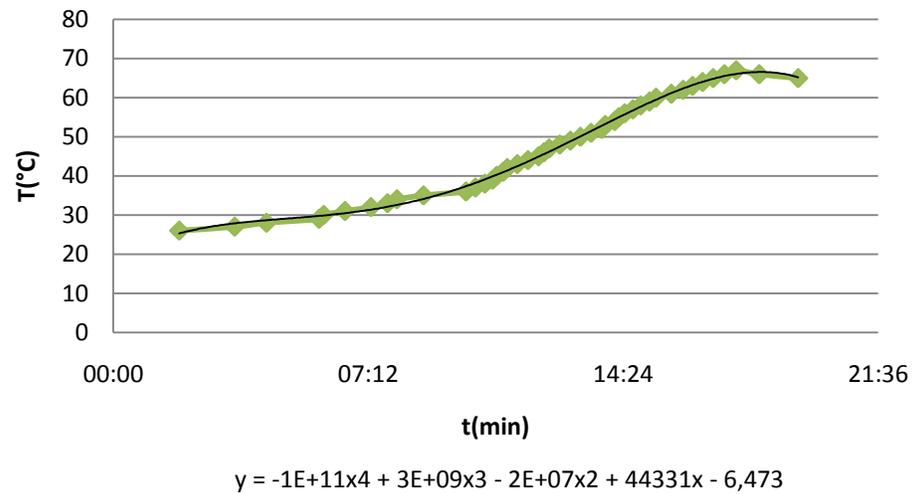


Figura D.1.5.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 5, de la disolución de las muestras de PVCT.

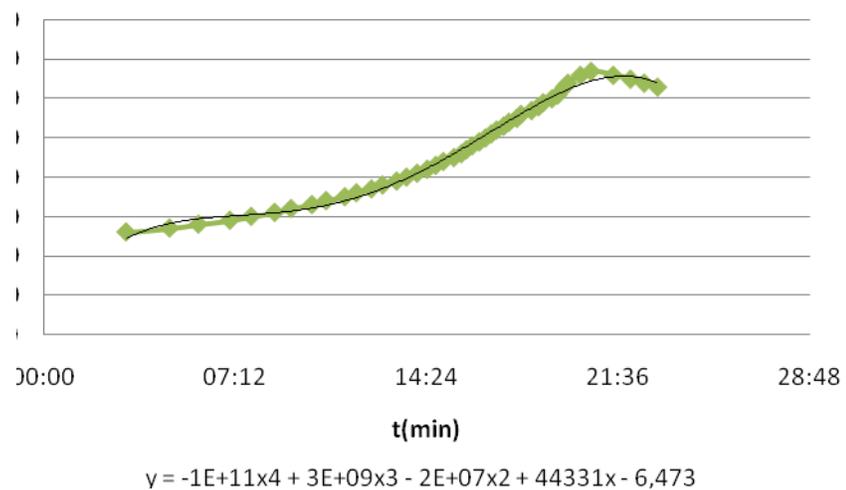
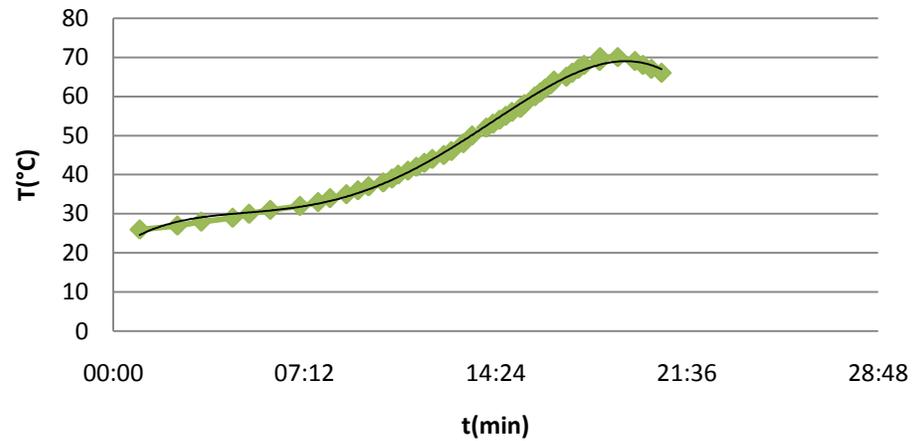
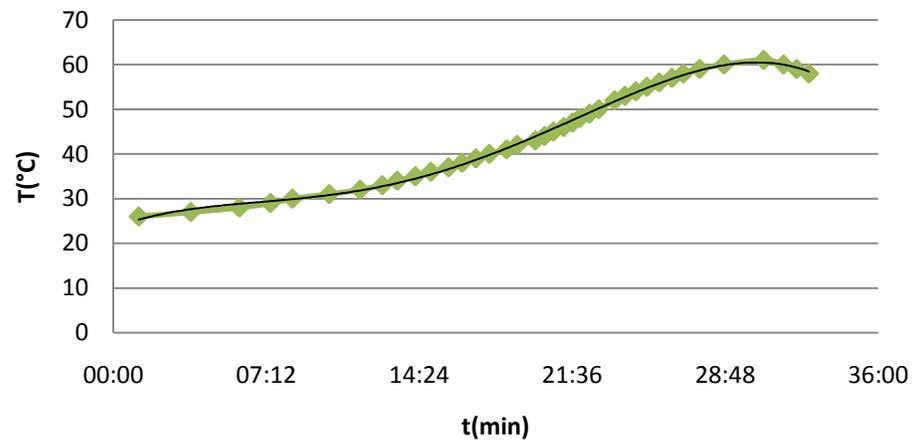


Figura D.1.6.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 6, de la disolución de las muestras de PVCT.



$$y = -1\text{E}+11x^4 + 3\text{E}+09x^3 - 2\text{E}+07x^2 + 44331x - 6,473$$

Figura D.1.7.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 7, de la disolución de las muestras de PVCT.



$$y = -1\text{E}+11x^4 + 3\text{E}+09x^3 - 2\text{E}+07x^2 + 44331x - 6,473$$

Figura D.1.8.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 8, de la disolución de las muestras de PVCT.

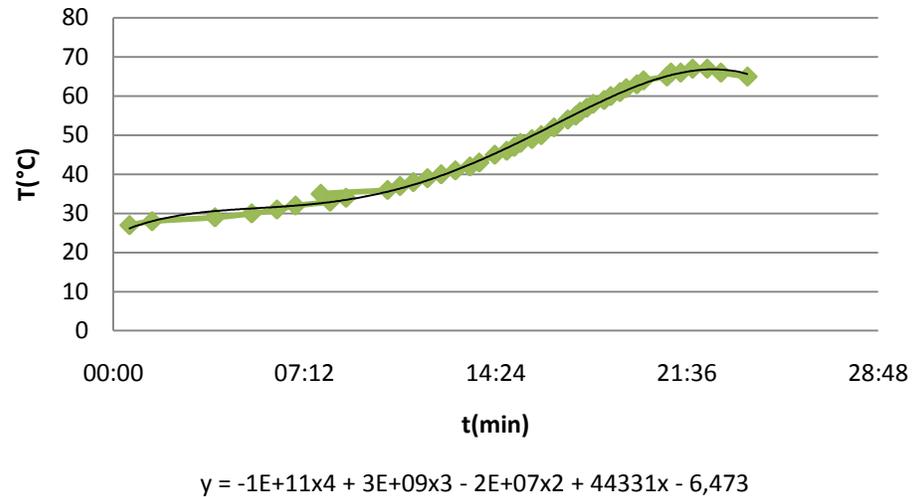


Figura D.1.9.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 9, de la disolución de las muestras de PVCT.

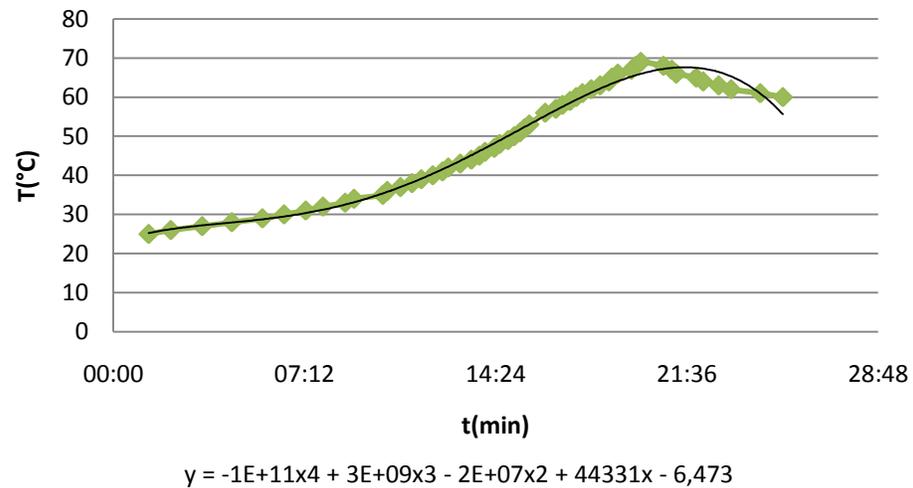


Figura D.1.10.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 10, de la disolución de las muestras de PVCT.

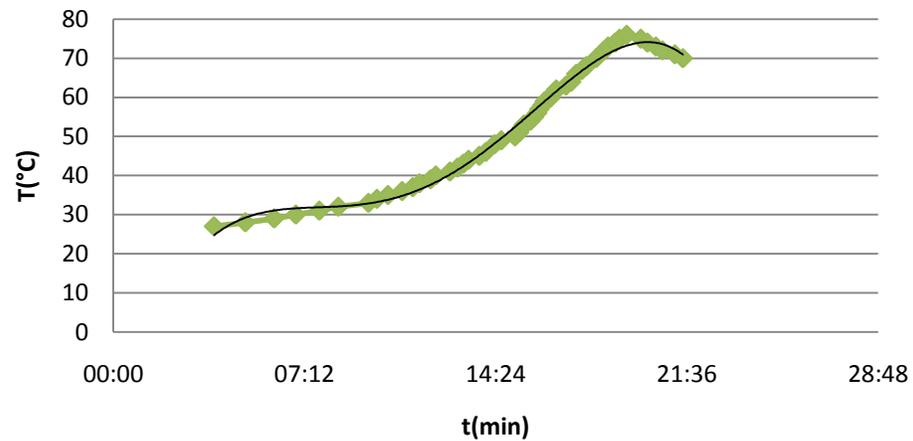


Figura D.1.11.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 11, de la disolución de las muestras de PVCT.

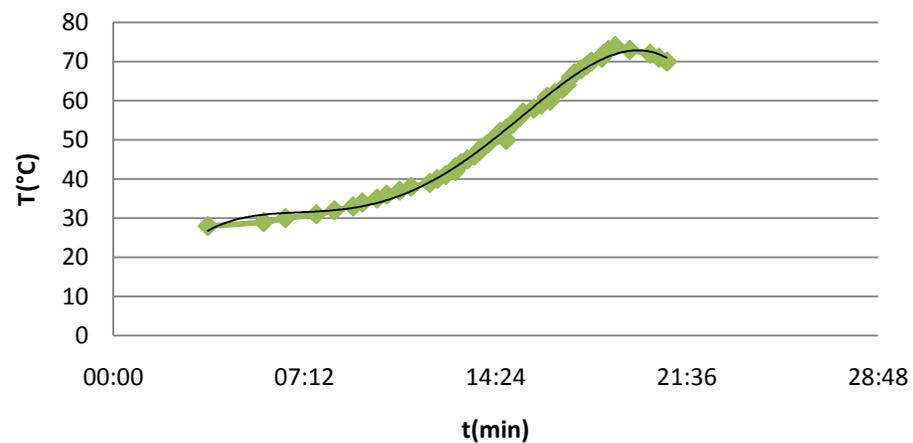


Figura D.1.12.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 12, de la disolución de las muestras de PVCT.

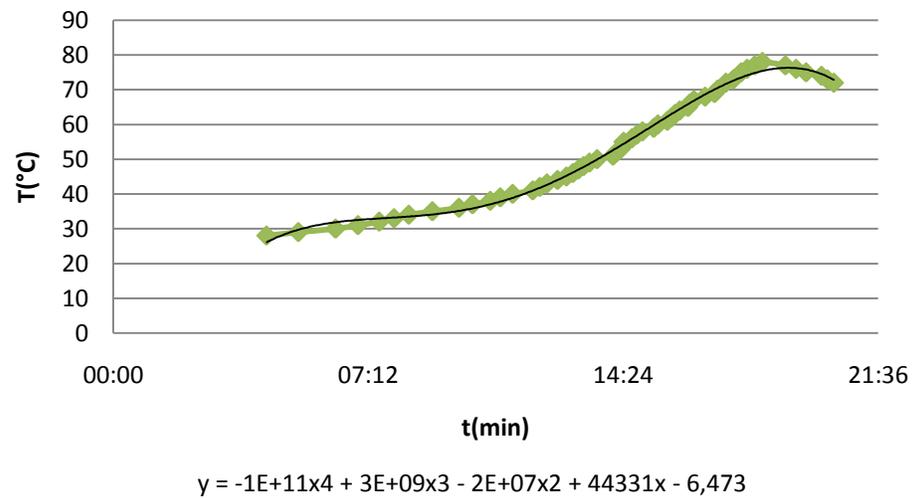


Figura D.1.13.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 13, de la disolución de las muestras de PVCT.

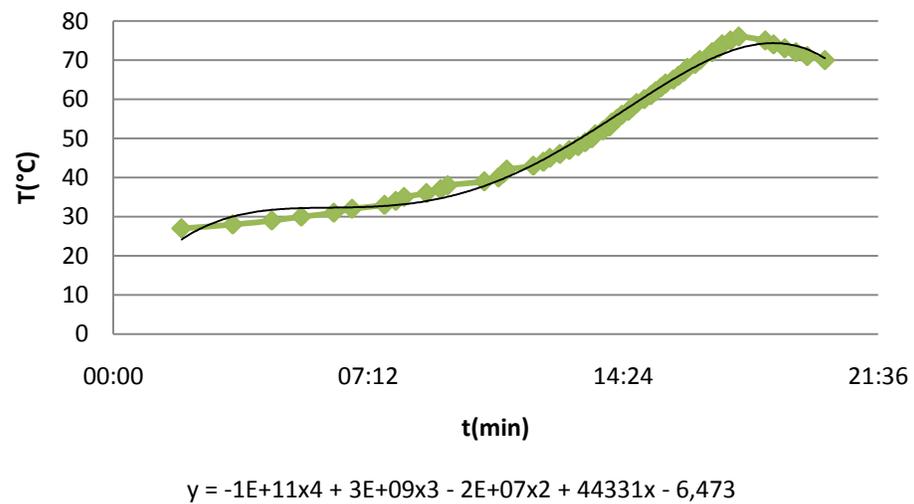
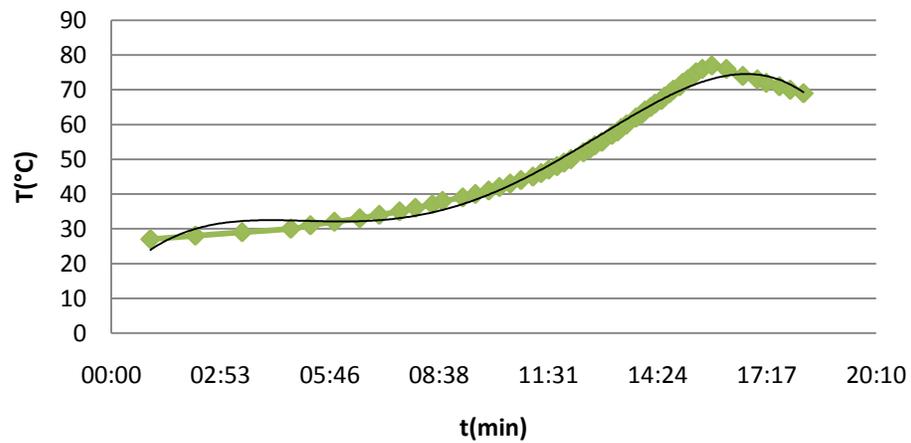


Figura D.1.14.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 14, de la disolución de las muestras de PVCT.



$$y = -1E+11x^4 + 3E+09x^3 - 2E+07x^2 + 44331x - 6,473$$

Figura D.1.15.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 15, de la disolución de las muestras de PVCT.

D.2 Representaciones gráficas de los datos presentados en el Anexo C.2.
Fuente: Microsoft Excel.

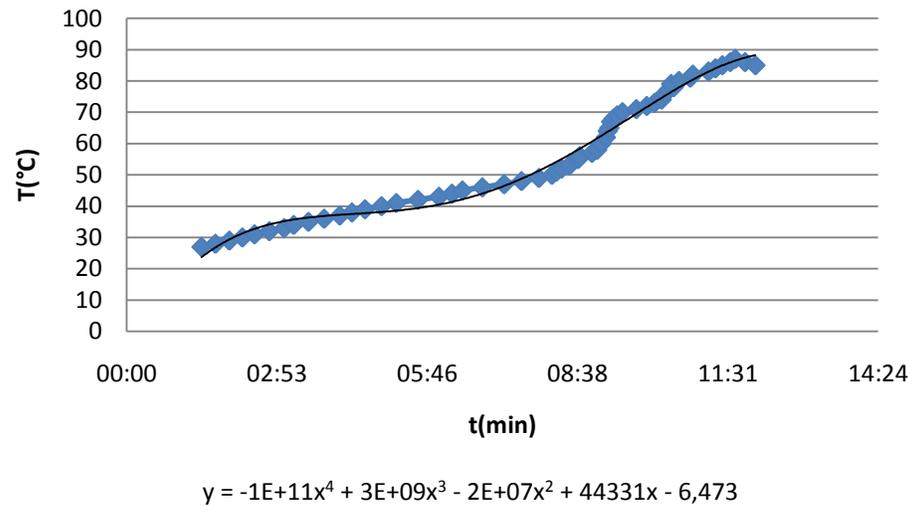


Figura D.2.1.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 1, de la disolución de las muestras de PVCB.

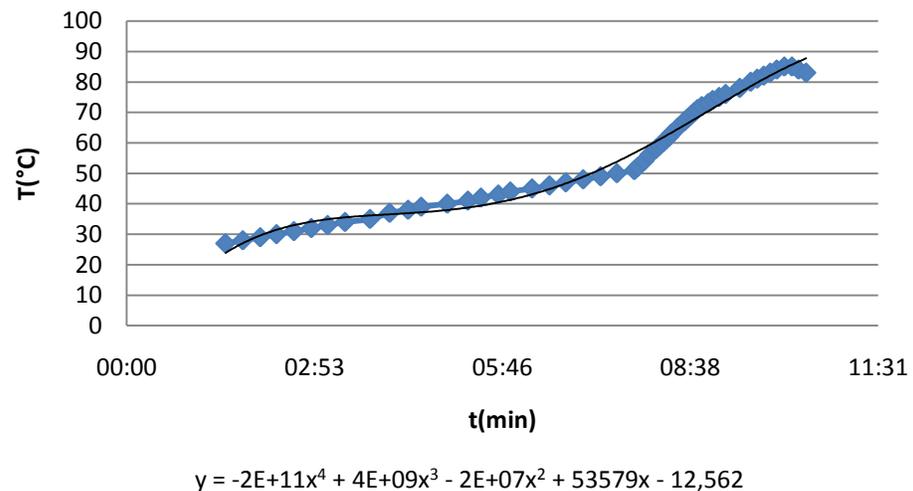
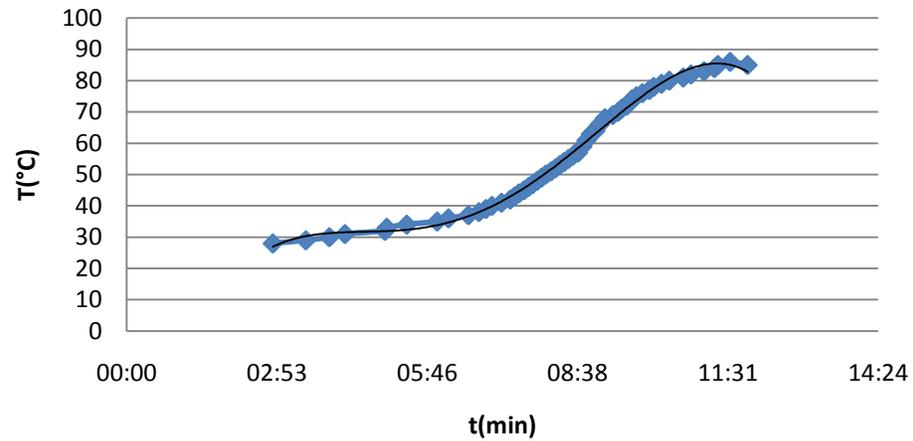
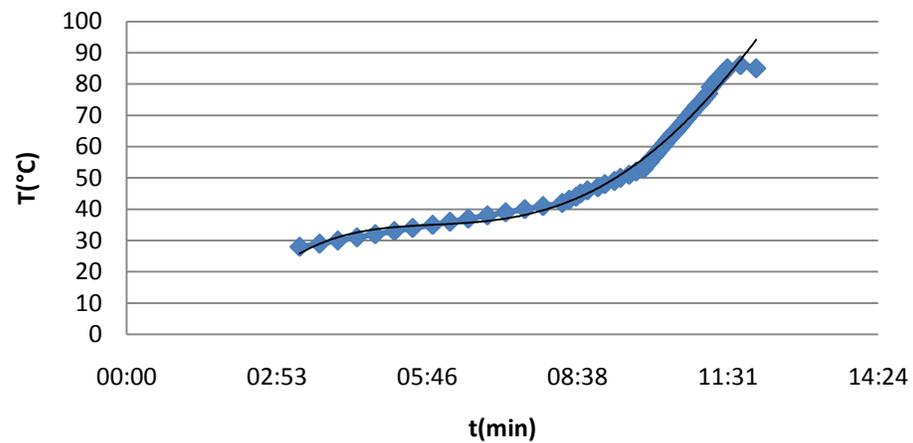


Figura D.2.2.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 2, de la disolución de las muestras de PVCB.



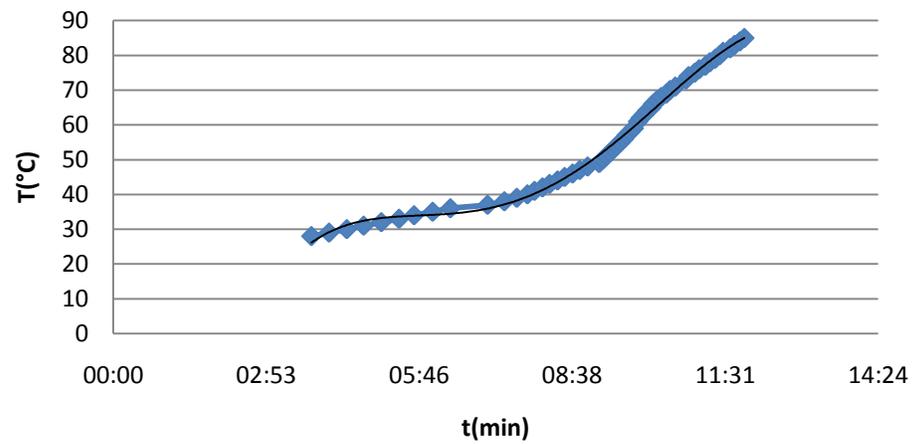
$$y = -3\text{E}+11x^4 + 6\text{E}+09x^3 - 4\text{E}+07x^2 + 99630x - 63,558$$

Figura D.2.3.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 3, de la disolución de las muestras de PVCB.



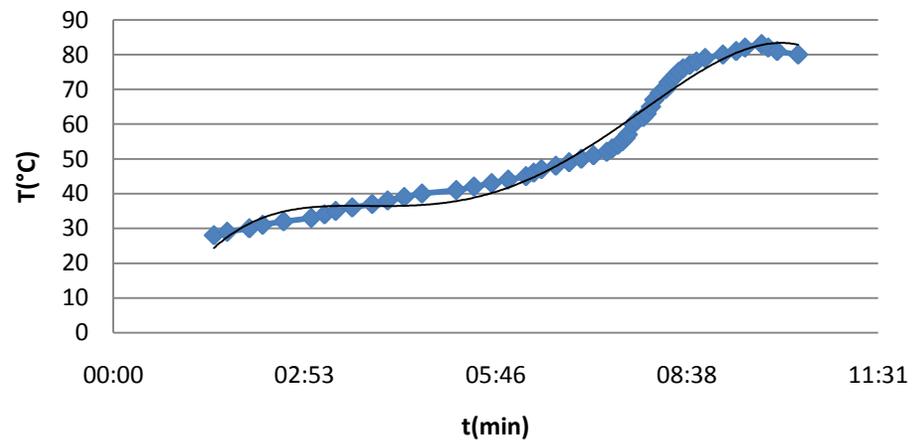
$$y = -9\text{E}+10x^4 + 3\text{E}+09x^3 - 2\text{E}+07x^2 + 81035x - 69,978$$

Figura D.2.4.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 4, de la disolución de las muestras de PVCB.



$$y = -3E+11x^4 + 7E+09x^3 - 5E+07x^2 + 166414x - 165,58$$

Figura D.2.5.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 5, de la disolución de las muestras de PVCB.



$$y = -4E+11x^4 + 7E+09x^3 - 4E+07x^2 + 80352x - 27,584$$

Figura D.2.6.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 6, de la disolución de las muestras de PVCB.

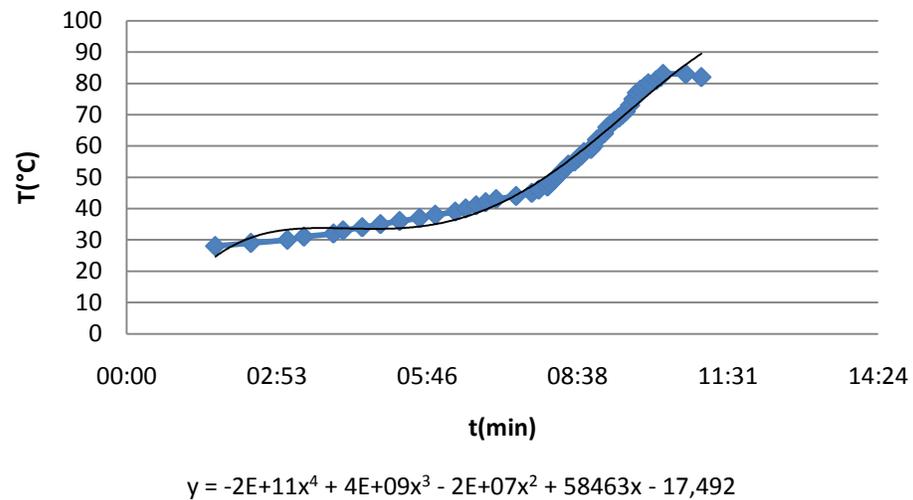


Figura D.2.7.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 7, de la disolución de las muestras de PVCB.

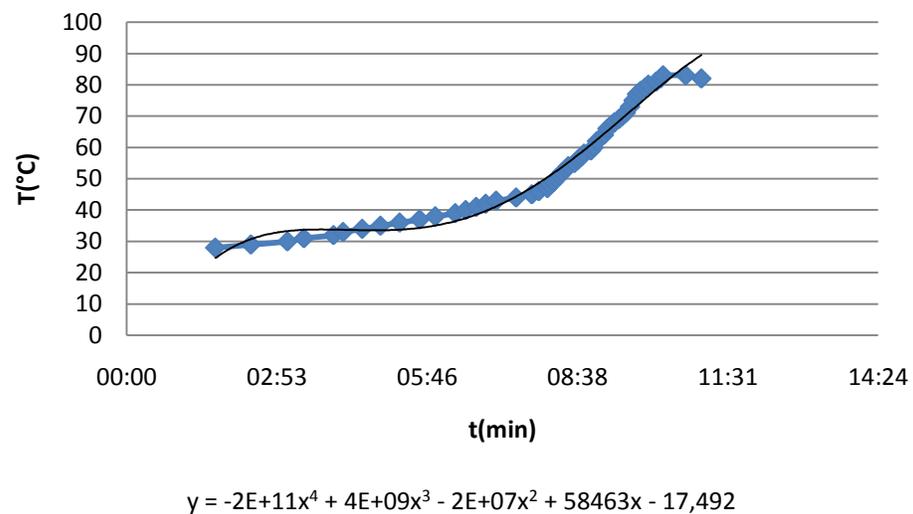
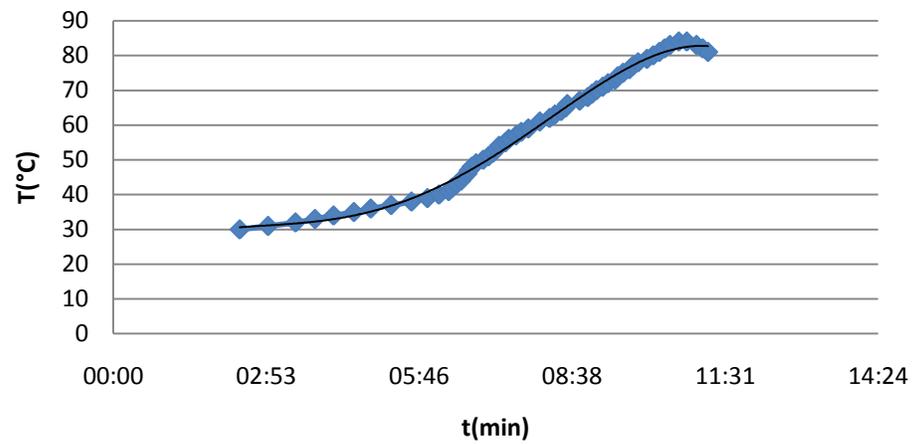
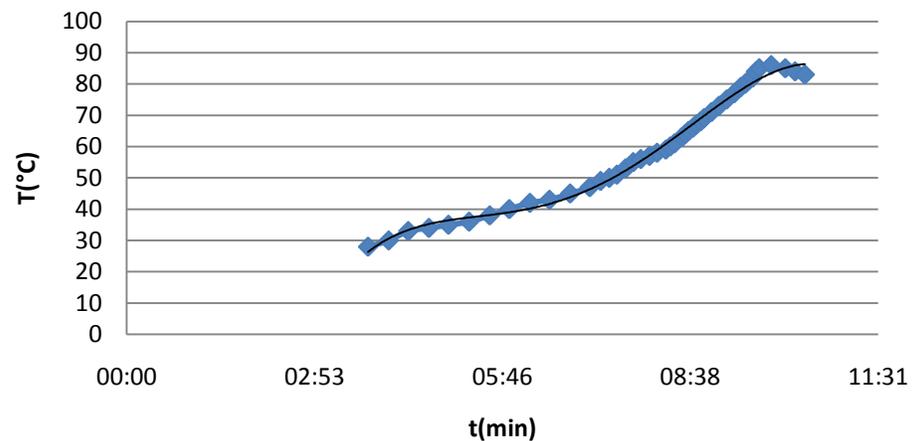


Figura D.2.8.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 8, de la disolución de las muestras de PVCB.



$$y = -1E+11x^4 + 2E+09x^3 - 9E+06x^2 + 17644x + 18,223$$

Figura D.2.9.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 9, de la disolución de las muestras de PVCB.



$$y = -8E+11x^4 + 2E+10x^3 - 1E+08x^2 + 315395x - 314$$

Figura D.2.10.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 10, de la disolución de las muestras de PVCB.

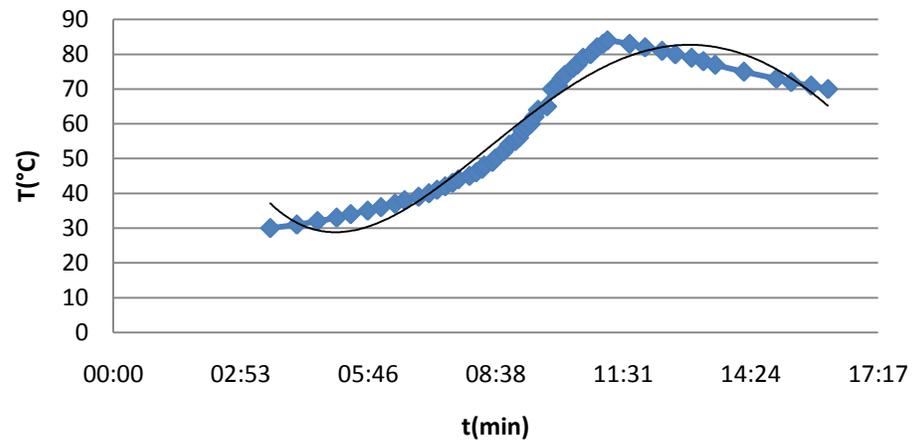


Figura D.2.11.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 11, de la disolución de las muestras de PVCB.

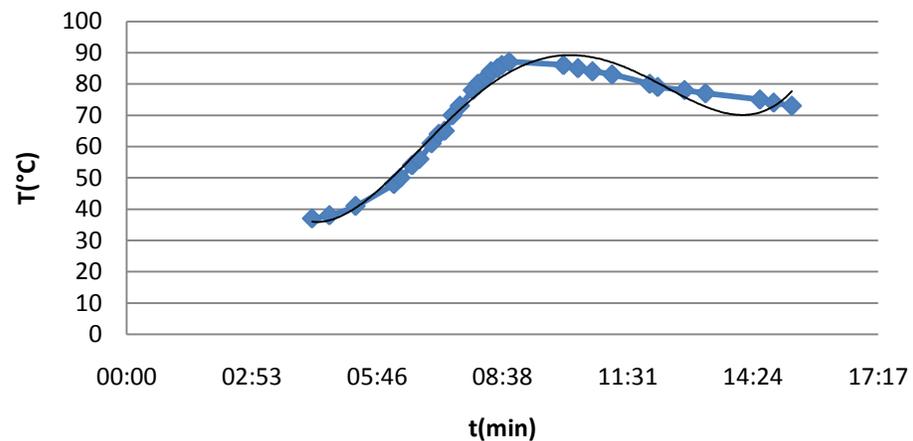
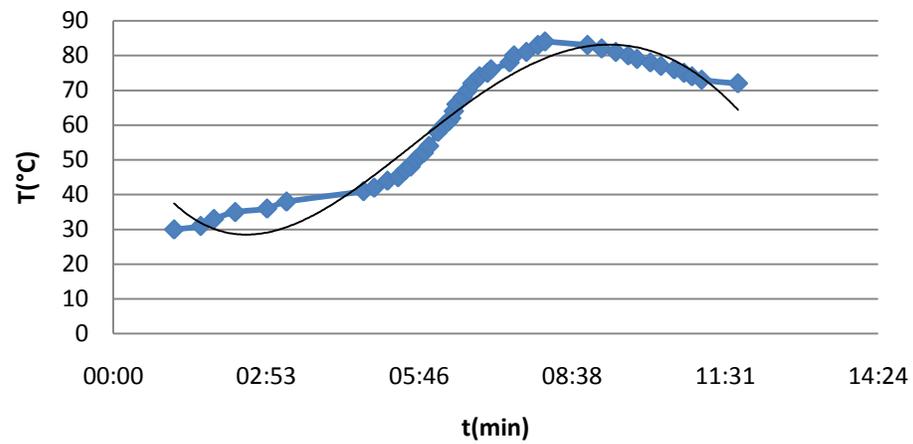
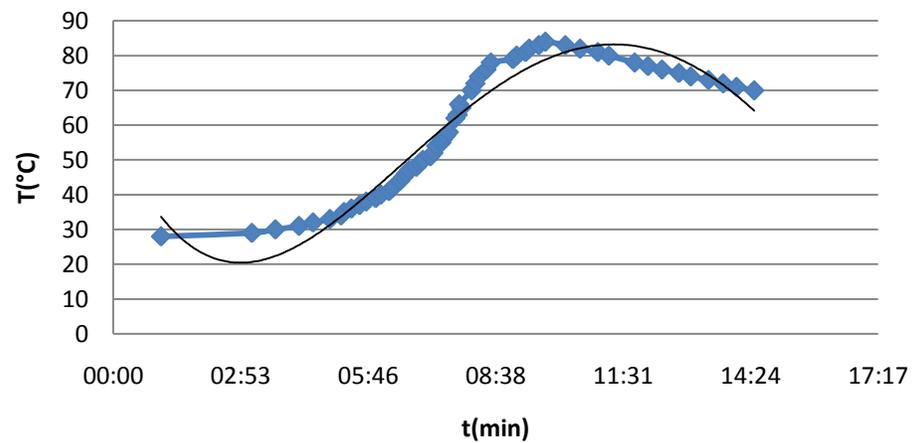


Figura D.2.12.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 12, de la disolución de las muestras de PVCB.



$$y = 6E+10x^4 - 2E+09x^3 + 2E+07x^2 - 45176x + 63,193$$

Figura D.2.13.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 13, de la disolución de las muestras de PVCB.



$$y = 5E+10x^4 - 2E+09x^3 + 2E+07x^2 - 43323x + 58,394$$

Figura D.2.14.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 14, de la disolución de las muestras de PVCB.

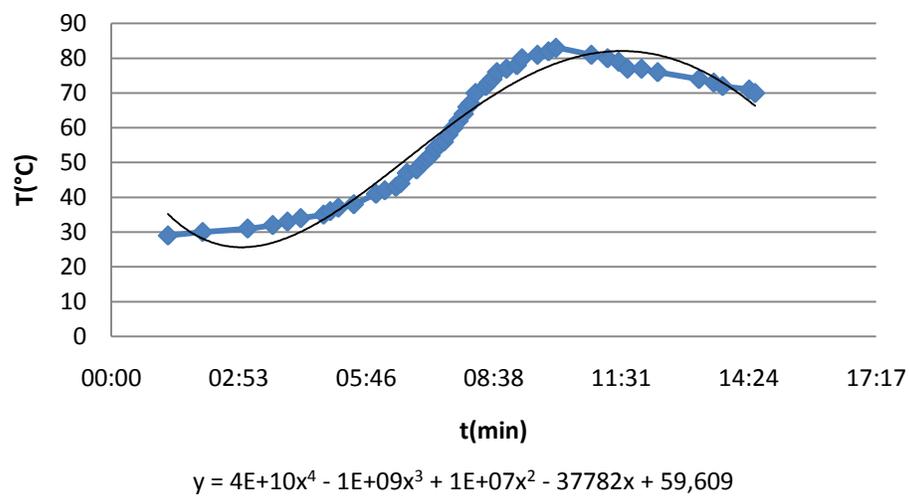


Figura D.2.15.- Curva de temperatura versus tiempo para los datos recolectados en el ensayo 15, de la disolución de las muestras de PVCB.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Pilchick, R. «Pharmaceutical Blister Packaging, Part I: Rationale and Materials.» (2000): 68-78.
- [2] Wikipedia, La enciclopedia libre. Blíster. Marzo de 2013. 2012 <<https://es.wikipedia.org/wiki/Bl%C3%ADster>>.
- [3] Castro, A. T. P. «Viabilização do reaproveitamento dos "Blister" de PVC/AI e estudos das propriedades do PVC após processamento por radiação ionizante.» 2008. Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2012 <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-17082009-172808/>>.
- [4] Byrne, Eloise, y otros. «Life Cycle Assessment of PVC and of principal competing materials.» Julio de 2004. sitio Web European Commission. 2012 <http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/sustdev/pvc-final_report_lca_en.pdf>.
- [5] European Aluminium Association. «Aluminium Recycling in Europe.» 2005. European Aluminium Association. 2012 <<http://www.alueurope.eu/wp-content/uploads/2011/08/Aluminium-recycling-in-Europe-2007.pdf>>.
- [6] Asociación Argentina del PVC. «Boletín Técnico N°15: El PVC y sus aditivos.» 2003. sitio Web Asociación Argentina del PVC. 2012 <<http://www.aapvc.org.ar/admin/archivosNoticias/74triptico-n%C2%B015.pdf>>.
- [7] Coates, PD, y otros. «Materials and products from UK-sourced PVC-rich waste.» 2004. sitio Web PVC Recycling Limited. The Waste & Resources Action Programme. 2012 <http://www.pvcrecycling.co.uk/docs/products_from_PVC_rich_waste.pdf>.
- [8] Yangzhou Jerel Packing Material Co., Ltd. Blister Alu Foil. 2008. 2012 <<http://www.jerelpack.com/proshow.php?aid=2>>.
- [9] Switkes, G. «Impactos ambientais e sociais da cadeia produtiva de Alumínio na Amazônia.» sitio Web International Rivers Network, Programa na América Latina. 2012 <<http://www.internationalrivers.org>>.

- [10] Calder, G. and Stark, T. «Aluminum Reactions and Problems in Municipal Solid Waste Landfills.» Pract. Period. Hazard. Toxic Radioact. Waste Manage., 14(4) (2010): 258-265.
- [11] Wikipedia, la enciclopedia libre. «Compuestos Orgánicos Persistentes.» Wikipedia, la enciclopedia libre. 2012 <http://es.wikipedia.org/wiki/Compuestos_org%C3%A1nicos_persistentes>.
- [12] —. «Dioxina.» Wikipedia, la enciclopedia libre. 2012 <<http://es.wikipedia.org/wiki/Dioxina>>.
- [13] Ecuador inmediato. Marcela Aguiñaga: 70% de municipios en Ecuador no cuenta con rellenos sanitarios. 17 de Noviembre de 2011. 2012 <http://www.ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=161792&umt=marcela_aguinaga_70_municipios_en_ecuador_no_cuentan_con_relleno_sanitario>.
- [14] Wikipedia, la enciclopedia libre.. Guayaquil. 2012 <<http://es.wikipedia.org/wiki/Guayaquil>>.
- [15] Von Buchwald, F. «Relleno Sanitario Las Iguanas.» sitio Web Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. 2012 <<http://www.bvsde.paho.org/sde/ops-sde/bvsde.shtml>>.
- [16] Corena, Mironel. «Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios.» 2008. Universidad de Unisucré. <<http://biblioteca.unisucré.edu.co:8080/dspace/bitstream/123456789/343/1/628.44564C797.pdf>>.
- [17] Giraldo, Eugenio. «Tratamiento de Lixiviados de Rellenos Sanitarios.» Universidad de los Andes. 2012 <<https://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/Rv14-A8.pdf>>.
- [18] INCOP (Instituto Nacional de Contratación Pública). «Informe Subasta Inversa Corporativa de Medicamentos.» 2012. INCOP. 2013 <<http://www.compraspublicas.gob.ec/incop/index.php/agencias-de-informacion/boletines-de-prensa/497-listad>>.
- [19] Consejo Nacional de Planificación de la República del Ecuador. «Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013.» 2009. Ministerio Coordinador de Política

- Económica. 2012 <<http://www.politicaeconomica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/Plan-nacional-del-buen-vivir-resumen.pdf>>.
- [20] Ministerio del Ambiente del Ecuador. Ministerio del Ambiente. 2013 <<http://www.ambiente.gob.ec/>>.
- [21] Chang, Raymond. Química. Trads. Ma. del Carmen Ramírez y Rosa Zugazagoitia. Séptima. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana Editores, 2003.
- [22] Mesa Community College. «Synthesis of Alum from Aluminium.» Mesa Community College. 2012 <<http://www.mesacc.edu/~pauddy84101/CHM151LL/6B%20Alum.pdf>>.
- [23] Braskem. «Boletim Técnico N°02 PVC: Resistência Química dos Compostos do PVC.» julio de 2002. sitio Web Braskem. 2012 <http://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm_tecnico/Tabela_de_Resistencia_Quimica_dos_Compostos_de_PVC.pdf>.
- [24] Wikipedia, la enciclopedia libre. Alumbre. 2012 <https://es.wikipedia.org/wiki/Alumbre_pot%C3%A1sico>.
- [25] Grupo Elbazarnatural. Piedra alumbre, el desodorante natural. 2010. 2012 <<http://www.piedraalumbre.com/presentacion.html>>.
- [26] State University of New York (SUNY) College . «The synthesis of alum from aluminium scrap.» Junio de 2005. SUNY Department of Chemistry. 2012 <http://www.oneonta.edu/faculty/kotzjc/LAB/Alum_Expt.pdf>.
- [27] Mullin ;, J.W. Crystallization. Cuarta. Woburn: Reed Educational and Professional Publishing, 2011.
- [28] Vogel, Arthur. Química Analítica Cuantitativa. Trads. Miguel Catalano y Elsiades Catalano. Vol. I: Volumetría y Gravimetría. Buenos Aires: Kapelusz, 1960.
- [29] American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF), Washington, DC. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st. Washington D.C.: APHA, 2005.

- [30] Christian, Gary D. Química Analítica. Sexta. México D.F.: Mc Graw Hill, 2009.
- [31] University of Colorado. Organic Chemistry Lab Procedures. 2013. 2013 <<http://orgchem.colorado.edu/Technique/Procedures/Procedures.html>>.
- [32] Willard, H., N. Furman y C. Bricker. Análisis Químico Cuantitativo. Trad. F. Capitán. Barcelona: Editorial Marín S.A., 1965.
- [33] Ministerio de Sanidad y Consumo del Medicamento. Real Farmacopea Española. Primera. Madrid: Boletín Oficial del Estado, 1997.
- [34] USP Pharmacopeial Convention. Farmacopea de los Estados Unidos de América-Formulario Nacional. USP-30, NF-25. USP Pharmacopeial Convention, 2007.
- [35] Ministère de la Santé Publique et de la Population. Pharmacopée Française. VIII. Paris: Direction de la Commission Permanente de la Pharmacopée para l'ordre national des pharmaciens, 1965.
- [36] Walpole, Ronald, y otros. Probability&Statistics for Engineers&Scientists. Eight. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2007.
- [37] Johnson, Richard. Miller & Freund's Probability and Statistics for Engineers. Octava. Madison: Pearson Prentice Hall, 2011
- [38] Wade, L. Química Orgánica. Trads. Ángel-Manuel Montaña y Consuelo Batalla. Quinta. Madrid: Pearson Educación, S.A., 2004.