

**USO DE ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS) POST-CONSUMO EN LA  
OBTENCIÓN DE DERIVADOS POLIMERICOS CON VALOR AGREGADO**



**MARIA FERNANDA BUENO CASTELLANOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DESANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIA FISICO-QUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
BUCARAMANGA**

**2013**

**USODE ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS) POST-CONSUMO EN LA  
OBTENCIÓN DEDERIVADOS POLIMERICOS CON VALOR AGREGADO**

**MARIA FERNANDA BUENO CASTELLANOS**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniera Química**

**Director de proyecto**

**JOSÉCARLOS GUTIÉRREZGALLEGO**

**Químico M. Sc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DESANTANDER**

**FACULTAD DE INGENERIA FISICO-QUIMICAS**

**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**BUCARAMANGA**

**2013**

## CONTENIDO

INTRODUCCION .....	12
1. MARCO TEORICO .....	13
1.1 MATERIALES COMPUESTOS .....	13
1.2 COMPUESTOS DE MATRIZ POLIMÉRICA .....	13
1.2.1 Resinas de poliéster .....	13
1.2.2 Acrilonitrilo- butadieno -estireno (ABS).....	14
1.3 PROCESO DE DISOLUCIÓN .....	14
1.4 PROCESO DE CURADO.....	14
1.5 ADITIVOS DE LOS POLÍMEROS .....	15
1.5.1 Iniciador .....	15
1.5.2 Catalizador .....	16
1.6 CARGAS .....	16
1.6.1 Carbonato de calcio .....	16
1.6.2 Cargas de tipo orgánico .....	17
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL .....	17
2.1 RECOLECCIÓN DE ABS POST CONSUMO .....	18
2.2 TEST DE SOLUBILIDAD .....	18
2.2.1 Espectroscopia de infrarrojo.....	18
2.3 SELECCIÓN DE LA CARGA .....	18
2.4 ELABORACION DE AGLOMERADOS.....	19
2.4.1 Adición de iniciador y catalizador .....	19
2.4.2 Plástico reforzado .....	19
2.4.3 Madera plástica.....	19
2.5 CARACTERIZACION FISICOQUIMICA .....	20
2.5.1 Ataque químico .....	20
2.5.2 Determinación de la densidad .....	20
2.6 PROPIEDADES MECÁNICAS .....	20

2.6.1	Ensayo de compresión .....	20
2.6.2	Ensayo de flexión .....	21
2.6.3	Ensayo de impacto .....	21
3.	RESULTADOS Y ANALISIS.....	21
3.1	CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS .....	21
3.1.1	Caracterización de solubilidades .....	21
3.1.1.2	Espectroscopia infrarrojo.....	22
3.1.2	CARACTERIZACIÓN DE LAS CARGAS.....	23
3.1.2.1	Carbonato de calcio (CaCO <sub>3</sub> ).....	23
3.1.2.2	Aserrín .....	23
3.2	CARACTERIZACIÓN DE AGLOMERADOS.....	23
3.2.1	Adición de iniciador y catalizador .....	23
3.2.2	Madera plástica.....	24
3.2.3	Plástico reforzado .....	25
3.3	RESISTENCIA A AGENTES QUÍMICOS .....	26
3.3.1	Madera plástica.....	26
3.3.2	Plástico reforzado .....	27
3.4	DETERMINACION DE LA DENSIDAD APARENTE .....	28
3.5	PROPIEDADES MECANICAS .....	28
3.5.1	Ensayos de flexión e impacto.....	29
3.5.2	Ensayo de compresión .....	30
3.5.2.1	Ensayo de compresión para la madera plástica .....	30
3.5.2.2	Ensayo de compresión para el plástico reforzado.....	31
3.5.3	Módulo de elasticidad.....	32
	RECOMENDACIONES.....	33
	CONCLUSIONES.....	34
	BIBLIOGRAFIA .....	35
	ANEXOS.....	37

## ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Representación del proceso de entrecruzamiento de termoestables.....	15
Ilustración 2. Reacción general del proceso de polimerización de una resina poliéster...	16
Ilustración 3. Desarrollo experimental.....	17
Ilustración 4. Ensayo de compresión ABS-PC. Aserrín y blanco para la probeta 40:60, Ensayo a compresión ABS-PC. Aserrín y blanco para la probeta 50:50.....	30
Ilustración 5. Ensayo de compresión ABS-PC: CaCO <sub>3</sub> y blanco para la probeta 40 : 60, Ensayo de compresión ABS-PC. CaCO <sub>3</sub> y blanco para la probeta 50:50.....	31

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones de las probetas utilizadas para ensayo de compresión.....	20
Tabla 2. Especificaciones de las probetas utilizadas para ensayos de flexión e impacto.....	21
Tabla 3. Solvente ensayado.....	22
Tabla 4. Características del metil metacrilato utilizado.....	22
Tabla 5. Influencia de la adición de catalizador y acelerador en el gelado de los aglomerados.....	24
Tabla 6. Caracterización de la madera plástica.....	24
Tabla 7. Caracterización del plástico reforzado.....	25
Tabla 8. Resistencia al ataque químico de la madera plástica.....	26
Tabla 9. Resistencia al ataque químico del plástico reforzado.....	27
Tabla 10. Probetas seleccionadas para determinar propiedades mecánicas.....	27
Tabla 11. Densidad aparente de la madera plástica.....	28
Tabla 12. Densidad aparente del plástico reforzado.....	28
Tabla 13. Ensayos de flexión e impacto en la madera plástica.....	29
Tabla 14. Ensayos de flexión e impacto en el plástico reforzado.....	29
Tabla 15. Módulo de Young para los aglomerados de madera plástica y plástico reforzado.....	32
Tabla 16. Análisis del espectro infrarrojo para el ABS-PC.....	47
Tabla 17 Análisis del espectro infrarrojo para el ABS puro.....	47

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. ESTRUCTURAS MOLECULARES.....	37
ANEXO B. MATERIAS PRIMAS.....	39
ANEXO C. AGLOMERADOS.....	40
ANEXO D. CARACTERIZACIÓN DE AGLOMERADOS- MADERA PLÁSTICA.....	40
ANEXO E. CARACTERIZACIÓN DE AGLOMERADOS- PLASTICO REFORZADO.....	44
ANEXO F. IR DE ABS-PC.....	46
ANEXO G. IR DE ABS.....	46
ANEXO H. ANALISIS DEL ESPECTRO INFRARROJO PARA EL ABS PC.....	47
ANEXO I. ESPECIFICACIONES DE LAS NORMAS ASTM American Society for Testing and Materials.....	48
ANEXO J. SUBPARTIDA ARANCELARIA EXPEDIDA POR EL DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICAS (DANE).....	55

## RESUMEN

**TÍTULO:** USO DE ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS) POST CONSUMO EN LA OBTENCIÓN DE DERIVADOS POLIMÉRICOS CON VALOR AGREGADO\*

**AUTORA:** BUENO CASTELLANOS, María Fernanda\*\*

**PALABRAS CLAVES:** ABS Post-consumo, matriz polimérica, carbonato de calcio, aserrín, carga.

### DESCRIPCIÓN:

Plásticos es la forma común como se denominan los polímeros de origen sintético, existen más de 1000 tipos de materiales plásticos que hoy en día se encuentran presentes en numerosos objetos, un ejemplo de esto, son los encendedores desechables, que son fabricados con acrilonitrilo butadieno estireno. En Colombia se invierten anualmente \$ 9904 por kilogramo bruto en ella importación de dichos elementos, la dificultad que genera su reciclaje y por ende su persistencia en el medio ambiente, fueron los motivos de esta investigación. El estudio aquí descrito, hace una evaluación comparativa de los efectos del carbonato de calcio y aserrín sobre las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de materiales compuestos, elaborados a partir de la matriz polimérica de ABS en metil metacrilato, usando resina poliéster virgen como testigo.

Cuando los materiales plásticos se convirtieron en elementos de uso cotidiano, una cantidad considerable de desechos producidos empezó a acumularse en el ambiente, justamente por las propiedades que éste posee y porque algunos de éstos son muy difíciles de reciclar y su degradación podría tardar hasta 500 años, además, anualmente se producen millones de toneladas de plásticos a nivel mundial, actividad que aumenta de la mano con el crecimiento de la población. Por eso el objetivo de esta investigación es generar aglomerados con propiedades mejoradas a partir de ABS post consumo, para darle un valor agregado y así reducir el impacto ambiental mediante el reemplazo de aquellos elaborados a partir de resina poliéster virgen.

---

\*Proyecto de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: José Carlos Gutiérrez Gallego. Químico M. Sc.

## ABSTRACT

**TITLE:** USE OF ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE ABS POST- CONSUMPTION IN THE OBTAINING DERIVATIVE POLIMERICOS WITH ADDED VALUE\*

**AUTHOR:** BUENO CASTELLANOS, María Fernanda. \*\*

**KEY WORDS:** ABS post-consumption, polymeric matrix, calcium carbonate, sawdust, loads.

Plastic is the common form as they called polymers of synthetic origin, there are over 1000 types of these materials which are present in many objects, an example is disposable lighters, which are made of acrylonitrile butadiene styrene (ABS). In Colombia, invest \$ 9904 per kilogram gross in import of these items, along with the difficulty to be recycled, were the reasons for this research. The study described here, makes a comparative assessment of the effects of calcium carbonate and sawdust on the physicochemical and mechanical properties of composites made from ABS polymer matrix in methyl methacrylate, using virgin polyester resin as a witness.

When the plastic materials turned into elements of daily use, a considerable quantity of produced waste started accumulating in the environment, just by the properties they already own some of these are very difficult to recycle and their degradation could take up to 500 years also annually produce millions of tons, an activity that increases hand with population growth. Therefore, the objective of this research is to generate clusters with improved properties from post-consumer ABS, to add value and reduce environmental impact by replacing those made virgin polyester resin.

---

\*Degree Project.

\*\* Physical-Chemistry Engineerings Faculty. Chemical Engineering School. Director: José Carlos Gutiérrez Gallego. Chemical M.

## INTRODUCCIÓN

Plásticos es la forma común como se denominan los polímeros de origen sintético. Algunas de las propiedades de estos compuestos que los hacen tan ampliamente usados y que a su vez representan ventajas frente a otros materiales son: facilidad para ser trabajados o moldeados, su baja densidad, impermeabilidad, baja conductividad eléctrica, resistencia a la corrosión y a la intemperie, resistencia a diversos factores químicos y biológicos y su relativo bajo costo. Cuando los materiales plásticos se convirtieron en elementos de uso cotidiano, una cantidad considerable de desechos producidos empezó a acumularse en el ambiente, justamente por las propiedades que éste posee y porque algunos de éstos son muy difíciles de reciclar. Anualmente se producen millones de toneladas de plásticos a nivel mundial, actividad que aumenta de la mano con el crecimiento de la población y que posteriormente se convierte en una problemática para el relleno sanitario ya que su degradación podría tardar hasta 500 años. Existen más de 1000 tipos de materiales plásticos que hoy en día se encuentran presentes en numerosos objetos, un ejemplo de esto, son los encendedores desechables, que son fabricados con acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), un plástico muy resistente al impacto combinado con facilidad para el procesado. En Colombia se invierten anualmente \$ 4.521,49 por kilogramo bruto [16] en el uso de encendedores desechables, la dificultad que genera su reciclaje y por ende su persistencia en el medio ambiente, fueron los motivos de esta investigación, sobre el desarrollo de materiales compuestos a partir de ABS post consumo, cuya finalidad es lograr que dichos aglomerados tengan un periodo de degradación más corto, con propiedades mejoradas y disminuir el impacto ambiental que su uso ocasiona. Dentro de estos materiales se encuentra el plástico reforzado y la madera plástica, productos de la mezcla de la dispersión de ABS post consumo en metil metacrilato con carbonato de calcio y aserrín respectivamente, éste último es una carga de tipo orgánico considerada como un desecho industrial, de esta manera también se contribuiría al reciclaje, lo cual disminuiría la tala de bosques en la medida que este material sea el reemplazo de la madera en algunas de sus aplicaciones. Resina poliéster es utilizada como testigo para la comprobación de propiedades.

En el estudio descrito aquí se hace una evaluación comparativa del efecto del carbonato de calcio y el aserrín, sobre las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de aglomerados fabricados a partir de la matriz polimérica de ABS- metil-metacrilato utilizando como blanco la resina poliéster en lugar de blanco testigo.

## **1. MARCO TEORICO**

### **1.1 MATERIALES COMPUESTOS**

Un material compuesto o composite se podría describir como un material constituido por distintas constituyentes. A la hora de considerar un material como un compuesto, es la constitución macroscópica la que se tiene en cuenta, tanto si las fases constituyentes presentan dimensiones micro (entre  $10^{-4}$  y  $10^{-2}$  cm) como si son macro ( $<10^{-2}$  cm). De esta forma, un composite estaría formado por una mezcla o combinación de dos o más constituyentes básicos que pueden tener formas y/o composiciones químicas distintas. Al combinar dos materiales para formar un tercero, este último posee propiedades únicas y superiores a la de los constituyentes por separado [1]. La fase matriz de un compuesto (el constituyente mayoritario) puede ser de naturaleza metálica, cerámica o polimérica. Su principal función es la de actuar de ligante de la segunda fase (refuerzo o carga) y como un medio que distribuye y transmite los esfuerzos externos aplicados; sólo una pequeña fracción del esfuerzo aplicado es resistido por la matriz. Por otra parte, la matriz protege las fibras del deterioro superficial [2].

### **1.2 COMPUESTOS DE MATRIZ POLIMÉRICA**

Estos compuestos consisten en una fase matriz de polímero que pueden ser termoestable, termoplástica o elastomérica y una segunda fase o refuerzo a base de fibras, de partículas o láminas [3]. Los polímeros termoplásticos pueden calentarse desde el estado sólido hasta el estado líquido viscoso, y al enfriarse, vuelve a adoptar el estado sólido; además, este ciclo de enfriamiento puede aplicarse muchas veces sin degradar el polímero. La razón de dicho comportamiento, es que los polímeros termoplásticos consisten en macromoléculas lineales (ramificadas) que no se encadenan transversalmente cuando se les calienta. Por el contrario, los termofijos y los elastómeros sufren un cambio químico cuando se les calienta, lo cual hace que sus moléculas se unan transversalmente y fragüen permanentemente [3,4].

#### **1.2.1 Resinas de poliéster**

Son las resinas más usadas a escala mundial, ocupan un sitio destacado con más del 90% del volumen de consumo entre las matrices termoestables. Se producen a partir de reacciones de policondensación entre dos monómeros: ácido dicarboxílico (el más utilizado es el anhídrido maléico) y diol; de estos dos monómeros, uno al menos debe contener una insaturación. En líneas generales presentan baja temperatura de transición vítrea, y su resistencia y rigidez no son muy elevadas. Durante el endurecimiento tienden a contraerse (entre el 6 y 10%), siendo este uno de sus puntos débiles. El polímero resultante se disuelve en un medio reactivo, para disminuir la viscosidad de la resina y facilitar la procesabilidad [13].

### **1.2.2 Acrilonitrilo- butadieno -estireno (ABS)**

Es un material de polímero termoplástico opaco producido a partir de los monómeros Acrilonitrilo, 1,3-butadieno y estireno. El acrilonitrilo suele estar en una proporción de un 25%, pero puede llegar hasta el 30%, lo que hace que puedan obtener ABS de propiedades químicas, y dimensionales diferentes [6]. Cada monómero contribuye con características únicas para el equilibrio global de la propiedad. El acrilonitrilo proporciona la resistencia térmica y química, dureza y rigidez. El butadieno por su parte, proporciona al material una interesante ductilidad en temperaturas bajas, así como resistencia al impacto y a la fusión; por otro lado el estireno le otorga las propiedades de brillo, rigidez y procesabilidad. A todas estas propiedades, se les conoce en ingeniería como sinergia, hecho que indica que el producto final tiene una mezcla de propiedades mejoradas, además, el plástico ABS no es tóxico y tampoco incoloro [7].

### **1.3 PROCESO DE DISOLUCIÓN**

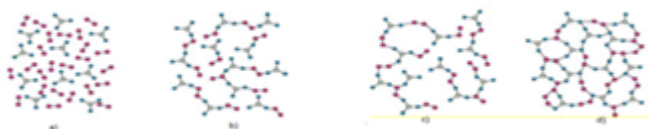
Un proceso de disolución implica la entrada de las moléculas del disolvente (monómero) por entre las moléculas del sólido produciéndose fuerzas de unión, soluto-disolvente, debilitándose los enlaces soluto-soluto. Cuando un polímero tiene una estructura lineal o poco ramificada es posible la entrada de las moléculas del disolvente por entre las moléculas del polímero, de manera que se produzca la solvatación de éste. A medida que aumenta la ramificación o reticulación del polímero, las moléculas del disolvente encuentran mayor dificultad para penetrar y solvatar las macromoléculas, penetran en ciertas zonas del polímero e incluso pueden haber zonas en las que no pueden penetrar. Se produce una solvatación parcial y como resultado un hinchamiento de determinadas zonas del polímero. En aquellos casos en que el polímero es muy reticulado el solvente no puede penetrar, no hay solvatación, el polímero es insoluble [6]. Serán solventes apropiados para disolver un polímero termoplástico aquellos que puedan formar fuertes enlaces secundarios (dipolo-dipolo, puente de hidrógeno y van der Waals) con las cadenas del polímero, reemplazando las fuerzas de atracción entre éstas. De esta manera, solventes polares tenderán a disolver polímeros polares, mientras que los no polares se disolverán en solventes no polares.

### **1.4 PROCESO DE CURADO**

El polímero se disuelve en el monómero (proceso de disolución) de manera que se convierte en un líquido que puede ser fácilmente utilizado. La relación del polímero a monómero va de 75:25 a 50:50 partes por peso. Tanto el gelado como el curado de la solución de polímero tienen lugar mediante una reacción de radicales libres. En este procedimiento, se añade un peróxido, el cual se descompone (se separa) en dos radicales libres altamente energizados que reaccionan con la porción insaturada del polímero y el

monómero. La presencia de radicales libres, en conjunto con las funcionalidades insaturadas del monómero, y el polímero resulta en la formación de nuevos enlaces químicos que entrecruzan el sistema. Una vez que el entrecruzamiento ha comenzado, el movimiento del polímero en la solución está altamente restringido. Después que solo una pequeña fracción de grupos insaturados han reaccionado, la solución se gela. Eventualmente, las cadenas del polímero son entrecruzadas por el monómero para formar un sólido. Para facilitar la reacción de polimerización y el consecuente cambio de estado a temperatura ambiente, es necesario añadir aditivos, los cuales adicionalmente modifican muchas propiedades y aumentan la utilidad del polímero. Los aditivos típicos son los iniciadores, catalizadores, cargas y pigmentos [2].

**Ilustración 1. Representación del proceso de entrecruzamiento de termoestables.**



a) Monómeros, b) Crecimiento lineal y ramificaciones por debajo del punto de gel, c) Formación de un gel,

d) Termoestable, curado total. Fuente. De Turi, 1981

## 1.5 ADITIVOS DE LOS POLÍMEROS

### 1.5.1 Iniciador

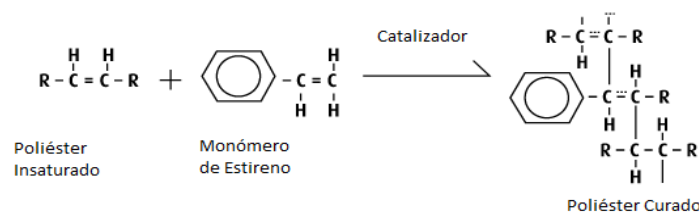
El iniciador, es normalmente un peróxido orgánico (por ejemplo, peróxido de metil-etil-cetona MEK). Su función es iniciar las reacciones de entrecruzamiento entre el polímero. El entrecruzamiento causa, primero que la solución gele y después que el gel cure completamente. Cuando un peróxido es añadido al polímero, el calor y/o el catalizador presente en el polímero lo dividen en radicales libres. Los radicales libres reaccionan con las insaturaciones del polímero y el monómero. El producto de reacción entre un compuesto insaturado y un radical libre resulta en un segundo radical libre, el cual después reacciona con otros grupos insaturados. Esto forma un tercer radical y el ciclo continúa hasta que el entrecruzamiento está formado. El proceso total termina cuando los radicales libres no son suficientemente móviles para contactar otros grupos insaturados. Esta falta de movilidad ocurre cuando la viscosidad en el sistema de curado llega a ser muy alta. Se debe utilizar una cantidad adecuada de peróxido para iniciar el proceso y llevarlo a un buen curado final. El porcentaje que se debe agregar al polímero para generar los radicales libres necesarios oscila entre 0.5% y 3%. Si se utiliza demasiado peróxido, se inicia el crecimiento de muchas cadenas poliméricas. Demasiadas cadenas iniciadas resultaran en cadenas poliméricas cortas y el curado será débil y tendrá pobres

propiedades mecánicas. Si se utiliza muy poco peróxido, el tiempo de gelado será demasiado largo y las cadenas de polímero en crecimiento pueden morir antes que los grupos insaturados reaccionen. Como resultado un material débil y posiblemente con consistencia de hule.

### 1.5.2 Catalizador

Los catalizadores incrementan la velocidad de descomposición del peróxido en radicales libres. El más usado es el naftenato de cobalto, que se obtiene tratando hidróxido o acetato cobaltoso con ácido nafténico. Es un líquido espeso y rojo púrpura, insoluble en agua y soluble en disolventes orgánicos. Los porcentajes a utilizarse oscilan entre 0.1% y 2.5%. Para producir un objeto moldeado o laminado, el polímero tiene que fraguar, es el proceso general de gelificación o coagulación y endurecimiento. Se consigue a la temperatura normal del lugar de trabajo. Como medida de seguridad se debe tener en cuenta que los peróxidos y los catalizadores nunca deben mezclarse directamente el uno con el otro. La reacción puede ser explosiva [12].

Ilustración 2. Reacción general del proceso de polimerización de una resina poliéster



## 1.6 CARGAS

Se denomina carga a todo material que adicionado a un polímero no intervenga en el proceso de endurecimiento o curado de la misma, por lo que se trata de una carga inerte. Las cargas poseen varias funciones; antes del curado facilitan el trabajo con el polímero proporcionando características tixotrópicas, o como reguladores de la densidad o la viscosidad. Durante el curado, las cargas al ser más conductoras de calor que el polímero, ayudan a disiparlo por procesos exotérmicos, disminuyendo el coeficiente de expansión térmica. Después del curado, proporcionan una resistencia extra a la abrasión y disipan el calor de las reacciones exotérmicas de los materiales de vaciado evitando cambios dimensionales en la pieza.

### 1.6.1 Carbonato de calcio

Uno de los principales compuestos para reforzar polímeros es el carbonato de calcio, procede de las rocas calizas de gran pureza como lo es el mármol. Es una de las cargas más usadas debido a su baja densidad  $2.7 \text{ gr/ cm}^3$  y su porosidad es de aproximadamente

0.4%. El carbonato de calcio mejora la resistencia mecánica y a los rayos UV de los polímeros, al mismo tiempo que aporta una mejor estabilidad dimensional [10].

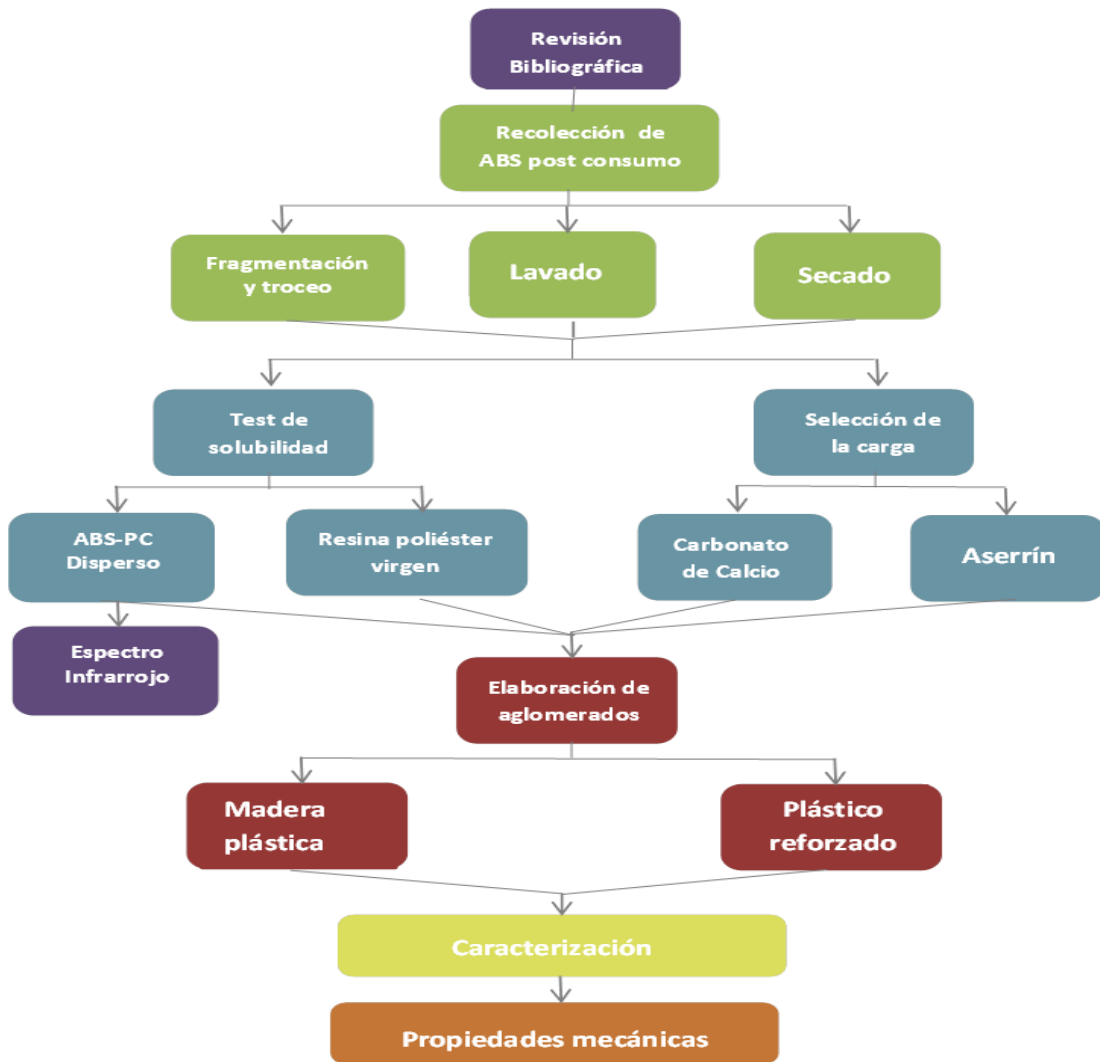
### 1.6.2 Cargas de tipo orgánico

Existe una alta disponibilidad de cargas de tipo orgánico, como aserrín, fibras celulósicas, etc. Cuando estas cargas son mezcladas con polímeros termoplásticos incrementan la rigidez del material compuesto, pero reducen su resistencia y tenacidad [11]. El aserrín es el polvo natural que se obtiene como desecho de los cortes que se le hacen a la madera.

## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Un diagrama general de la metodología empleada se presenta en la ilustración 3.

Ilustración 3. Desarrollo experimental



## **2.1 RECOLECCIÓN DE ABS POST CONSUMO**

El desarrollo experimental empieza con la recolección de 2 kilogramos (500 unidades) de encendedores desechables procedentes de varios centros de venta de materiales reciclados de la ciudad de Bucaramanga. Una vez obtenida la cantidad deseada, se procedió a la fragmentación y troceo manual para reducir su tamaño variable entre 3 y 5 mm, posteriormente se lavaron el fin de evitar que las impurezas afecten el proceso y se secaron a temperatura ambiente durante 8 días. Finalmente se tomaron muestras para realizar los ensayos que darían paso a la selección del solvente a utilizar. Cabe resaltar que los encendedores de gas de bolsillo no recargables no son producidos en Colombia, por ende existe una alta inversión en la importación desde países como México, China y Hong Kong [16].

## **2.2 TEST DE SOLUBILIDAD**

Se tomó 1 gramo de ABS post (ABS-PC) consumo para cada ensayo y se sumergieron en seis diferentes solventes de tipo comercial, los cuales se escogieron de manera arbitraria [17], considerando características similares al plástico en términos de polaridad [18]. La determinación de la solubilidad finalizó al obtener dispersión total del ABS-PC, la decisión del disolvente a utilizar radicó en la posesión de las propiedades más favorables para el proceso.

### **2.2.1 Espectroscopia de infrarrojo**

Con el fin de examinar los elementos que intervienen en el material, se realizó la prueba en la escuela de Química de la UIS utilizando un equipo marca BRUKER modelo TENSOR 27 FT-IR. Para esto se tomó una muestra de ABS-PC disperso en metil-metacrilato (MMA), se esparció en un vidrio de reloj, se tomaron medias de peso y se secó a 60°C durante 8 días hasta obtener peso constante (evaporación total del solvente), se tomó un fragmento de la película y se llevó al respectivo análisis.

## **2.3 SELECCIÓN DE LA CARGA**

En base a investigaciones previas [14] y [15], se decidió hacer uso de aserrín y carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) como cargas orgánica e inorgánica respectivamente, con el fin de evaluar la incidencia que éstas tienen sobre las propiedades finales del aglomerado.

El carbonato de calcio con un tamaño de partícula de 180  $\mu\text{m}$ , se obtuvo de LABORATORIOS LEON S.A ubicado en la ciudad de Bucaramanga y las partículas de aserrín se obtuvieron a partir de los procesos de trabajo de la madera de pino suministrados por MUEBLES ARTECTO S.A en la misma ciudad; debido a la facilidad de manipulación que ésta magnitud ofrece, el aserrín fue sometido a retención por tamiz hasta malla 120 (equivalente a 0.0049 pulgadas para un tamaño de partícula de 125  $\mu\text{m}$ ) en un tamiz

A.S.T.M.E-11 marca TYLER SARGENT-WELCH SCIENTIFIC. Ambas cargas se sometieron a secado a 60°C durante 48 horas con el fin de mantener la humedad por debajo del 0,1%.

## **2.4 ELABORACION DE AGLOMERADOS**

Para la fabricación de los materiales aglomerados se hizo en primer lugar, un planteamiento del diseño de experimentos basado en: 1. Cantidad de carga y 2. Tipo de carga para llegar a un total de 20 pruebas. El factor ruido (humedad del ambiente) se controló mediante secado y sellado hermético de las materias primas.

### **2.4.1 Adición de iniciador y catalizador**

Para determinar la cantidad de iniciador y catalizador que se debe incorporar en las matrices poliméricas de ABS-PC y resina poliéster virgen (RPV), se realizó una prueba en recipientes pequeños de vidrio, en los cuales se fue variando la cantidad de iniciador y catalizador. Mediante agitación manual, con el fin de determinar el porcentaje que proporcionara un gelado más rápido, se fueron tomando los tiempos en los cuales la mezcla empezaba a gelar. Las matrices poliméricas de ABS-PC y resina poliéster virgen(RPV) fueron inicialmente pre aceleradas con la incorporación del 2.5% de naftenato de cobalto como catalizador el cual permite la polimerización a la temperatura ambiente, posteriormente se procedió a la formulación de los materiales finales en donde se modificó la cantidad de carga y el porcentaje en peso del polímero para cada aglomerado.

### **2.4.2 Plástico reforzado**

Se elaboraron 10 muestras, de las cuales la mitad corresponde a la matriz polimérica de ABS-PC con  $\text{CaCO}_3$  y las restantes a la matriz polimérica de RPV con  $\text{CaCO}_3$ , éstas se hicieron por quintuplicado para fines de caracterización posterior. Las proporciones utilizadas fueron 30:70, 40:60, 50:50, 60:40 y 70:30 de la cantidad de carga y el porcentaje en peso del polímero respectivamente. Para producir la polimerización del aglomerado se adicionó 2% de peróxido de metil-etil-cetona(MEK) con el 2.5% de naftenato de cobalto y se procedió a la agitación manual. Las mezclas resultantes se vaciaron en frascos cilíndricos de vidrio, y se luego se dejó gelar en reposo 3 días hasta el endurecimiento total.

### **2.4.3 Madera plástica**

La cantidad y las proporciones empleadas para fabricar el aglomerado correspondiente al uso de la carga orgánica y la cantidad de muestras, fueron las mismas con las que se elaboró el plástico reforzado, para este caso, se utilizó el 3% de peróxido de metil-etil-cetona (MEK) con 2.5% de naftenato de cobalto. Las mezclas resultantes fueron incorporadas en moldes cilíndricos de acero y sometidas a presión en una prensa hidráulica marca CARVER modelo C serie No 22576-514 con escala en toneladas métricas

de 0 a 11 y en libras de 0 a 24.000. Finalmente, se introdujeron a un horno para acelerar el proceso de polimerización de terminales reactivos denominado proceso de curado a 60°C durante 2 horas. Para encontrar la presión de trabajo con la cual se fabricarían los materiales, se hizo un ensayo previo de exudación de fluido al aplicar cantidades mesurables de fuerza al compuesto, encontrando que a 1.1 toneladas métricas se obtenían los aglomerados deseados sin desperdicio de polímero. Con el fin de evitar la adhesión de la mezcla a las paredes del molde, se utilizó inicialmente entre 3 y 4 capas de acetato de polivinilo pero su efecto no fue el deseado, posteriormente se probó con películas de poli etilenglicol teleftalato (PET) presente en radiografías, y se obtuvo un resultado favorable. Este procedimiento de desmoldado fue utilizado para ambos materiales.

## 2.5 CARACTERIZACION FISICOQUIMICA

### 2.5.1 Ataque químico

Las muestras se fragmentaron y se introdujeron en soluciones básica, ácidas y salinas al 10% en volumen de NaOH, HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaCl y KCl y se dejaron en reposo durante 40 días con el fin de evaluar el ataque químico que éstas podrían sufrir.

### 2.5.2 Determinación de la densidad

Para hallar la densidad de los aglomerados, se recurrió al principio de Arquímedes [19] utilizando para la medición del volumen desplazado, agua en el plástico reforzado y aceite mineral en la madera plástica según la norma ASTM D792.

## 2.6 PROPIEDADES MECÁNICAS

Una vez seleccionadas las muestras que tuvieron el mejor comportamiento en la caracterización fisicoquímica, se elaboraron las respectivas probetas según normas ASTM para efectuar los ensayos de flexión, compresión e impacto. Los moldes utilizados en la elaboración de las muestras de plástico reforzado, fueron de madera cubierta con desmoldante para las probetas de flexión e impacto y de PVC para las probetas de compresión.

### 2.6.1 Ensayo de compresión

De acuerdo a la norma ASTM D 3410, la prueba se realizó empleando una MÁQUINA DE ENSAYO UNIVERSAL marca MTS (MATERIAL TEST SYSTEM) 810 modelo 318.10b-01. Las probetas se elaboraron con las dimensiones mostradas en la tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones de las probetas utilizadas para ensayo de compresión

ENSAYO	DIMENSIONES			GEOMETRIA
	DIAMETRO [mm]	ALTURA [mm]	AREA [mm] <sup>2</sup>	
Compresión	25	50	490.874	Cilíndrica

### 2.6.2 Ensayo de flexión

El ensayo de flexión en tres puntos se realizó según la norma ASTM D 790 en la misma MÁQUINA DE ENSAYO UNIVERSAL marca MTS con la que se efectuó el ensayo de compresión, pero con un mandril acoplado.

### 2.6.3 Ensayo de impacto

Las muestras realizadas se fallaron en el equipo de PÉNDULO DE IMPACTO marca TREBEL-WORK-DÜSSELDORF tipo PSW-30 serie 3001 siguiendo la norma ASTM D 256. Los ensayos mencionados, se llevaron a cabo en el laboratorio de resistencia de materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS. Las especificaciones de las probetas para pruebas de flexión e impacto se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones de las probetas utilizadas para ensayos de flexión e impacto

ENSAYO	DIMENSIONES				GEOMETRIA
	Alto [mm]	Largo [mm]	Ancho [mm]	AREA [cm] <sup>2</sup>	
Flexión	0.8	80	20	160	Rectangular
Impacto	16	100	20	200	Rectangular

Fuente. International Standards Worldwide

## 3. RESULTADOS Y ANALISIS

### 3.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

#### 3.1.1 Caracterización de solubilidades

La determinación de la solubilidad finalizó al obtener dispersión total del ABS-PC, la decisión del disolvente a utilizar radicó en la posesión de las propiedades más favorables para el proceso tales como economía, toxicidad del solvente, dispersión total del polímero y reactividad en la polimerización. Los dispersantes ensayados y las observaciones obtenidas después de 72 horas de prueba en reposo a temperatura ambiente 27°C, se presentan en la tabla 3. En función de las características indicadas en la tabla 3, y en vista de que solo dos de los disolventes ensayados reportaron resultados favorables, se sometieron a comparación, encontrando que el MMA además de ser más económico [16], es más volátil, menos tóxico que el THF y ofrece excelentes propiedades tales como endurecimiento a bajas temperaturas y fácil manipulación [20], además es activo a la polimerización y queda incorporado a las cadenas del producto final razones por las cuales se seleccionó dicha sustancia como solvente para la generar la matriz polimérica con la cual se elaborarían los aglomerados.

El MMA utilizado en este estudio proviene de INGEQUIMICA ubicado en la ciudad de Bucaramanga cuyas características aparecen en la tabla 4.

Tabla 3. Solventes ensayados

SOLVENTE	CARACTERISTICAS	RESULTADO
Xileno	Comercialmente se denomina xilol, es un solvente aromático monocíclico, de toxicidad media, es líquido, incoloro e inflamable.	Poca retención de solvente por parte del plástico, se obtuvo un hinchamiento del ABS-PC [24]
Acetato de etilo	Éster líquido, incoloro, inflamable, nocivo, irritante y poco polar	Dispersión parcial
Tetrahidrofurano (THF)	También conocido como óxido de dietileno, es un éter moderadamente polar y aprótico, altamente explosivo, tóxico y costoso.	Dispersión total
Tolueno	Solvente aromático, de polaridad baja, incoloro, inflamable y tóxico	Hinchamiento
Acetona	Disolvente polar aprótico de baja toxicidad e inflamable.	Sin cambios
Metil metacrilato (MMA)	Solvente polar de bajo costo, toxicidad moderada, irritante y volátil	Dispersión total

Fuente. El autor

Tabla 4. Características del metil metacrilato utilizado

PESO MOLECULAR	PUNTO DE FUSIÓN	PUNTO DE EBULLICIÓN	DENSIDAD	CALOR DE POLIMERIZACIÓN
100 g	-48°C	100.8°C	0.945 g/ml a 25°C	12.9 Kcal/mol

Fuente. INGEQUIMICA

La matriz polimérica se produjo por disolución de ABS-PC en el 25% de MMA [21] y para efectos de comparación, la matriz de resina poliéster virgen (RPV) fue hecha con las mismas proporciones para ser utilizada como testigo de comparación.

### 3.1.1.2 Espectroscopia infrarrojo

Se analizaron los espectros IR ABS puro e IR ABS-PC con el objetivo de obtener información estructural y realizar una comparación de bandas características para determinar los posibles enlaces y buscar la presencia de grupos funcionales. En el IR ABS-PC, las bandas de absorción a 3646.22 y 3539.87 se destacan por su intensidad, con una vibración de valencia con hidrógeno por parte del O-H, estas se encuentran en una región donde ocurre la deformación de tensión, las bandas 3023.4 y 2855.81 también se producen en una región de tensión, presentan una intensidad variable que depende del número de grupos CH y de la polaridad de los enlaces. Las bandas de 2000-1400  $\text{cm}^{-1}$  que se presentan en el IR ABS puro y IR ABS-PC, tienen vibraciones de valencia de enlaces dobles, son bandas intensas y su posición depende de los sustituyentes, en esta región se

presentan varias bandas débiles que son sobre tonos y bandas de combinación de las deformaciones de flexión en el plano y fuera del plano, y debe usarse una disolución moderadamente concentrada de la muestra para registrar estas bandas. Las bandas de absorción entre  $912.77$  y  $700\text{ cm}^{-1}$  que se observan en el IR de ABS puro e IR de ABS-PC, se encuentran en una región de flexión, en el caso IR de ABS puro, un benceno mono sustituido, exhibe dos bandas de deformación por torsión fuera del plano cerca de  $700$  y  $750\text{ cm}^{-1}$ , donde se presentan absorciones fuertes que son típicas de los compuestos aromáticos. Del análisis anterior se comprueba que el ABS puro presenta una fuerte influencia de los grupos aromáticos; el IR de ABS-PC permitió identificarla como ABS por la similitud en las bandas de absorción que corresponden a grupos funcionales que determinan la estructura de este polímero.

### **3.1.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS CARGAS**

#### **3.1.2.1 Carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ )**

También denominado polvo de mármol, es un componente de muy bajo costo debido a que hace parte de los residuos de extracción y mecanizado del mármol; su uso permite reducir el impacto ambiental que deja ésta industria por las grandes cantidades que se acumulan en los vertederos de las canteras y en las fábricas de procesamiento. Emplear carbonato de calcio como material de relleno rígido, permite elaborar materiales compuestos con buenas propiedades y tecnología de bajo costo [23], además, se descompone endotérmicamente para liberar dióxido de carbono, lo cual le ofrece un retardo de llama al material con el cual se aglomere [22]; otras ventajas incluyen la disminución de la viscosidad de las mezclas y buena conductividad térmica, que proporciona una alta homogeneidad fusión y dispersión uniforme en la matriz del polímero [15]. Por tales razones se tomó la decisión de hacer uso de éste compuesto para hacer los materiales de interés.

#### **3.1.2.2 Aserrín**

Se optó por hacer uso de este tipo de carga orgánica con el fin de estudiar las propiedades del material obtenido, dicha elección fue motivada por el impacto ambiental que se genera debido la tala de árboles y por los desechos resultantes de la industria de la madera. Las propiedades químicas del aserrín se asumen como la composición química de la madera: celulosa (50%), lignina (25%) y hemicelulosa (25%).

### **3.2 CARACTERIZACIÓN DE AGLOMERADOS**

#### **3.2.1 Adición de iniciador y catalizador**

La tabla 5 presenta los resultados de los tiempos transcurridos hasta el gelado durante la variación de iniciador y catalizador. Se encontró que con un aumento de iniciador y un aumento de catalizador se consiguieron tiempos de polimerización más cortos. En base a

estos resultados se decidió utilizar 2.5% de catalizador y 3% de iniciador para la elaboración de los aglomerados. Una vez obtenidas las muestras de plástico reforzado y madera plástica, se extrajeron de sus respectivos moldes y se observaron datos cualitativos como color, textura, rigidez y compactación, se les realizó un corte transversal para observar la maquinabilidad y la distribución de la carga a través de todo el material, ésta última se efectuó haciendo uso del principio de reflexión de la luz en una cámara de 8 mega pixeles de resolución con un aumento de 30X. Con estos criterios se tomó la decisión de solo tener en cuenta para la siguiente fase, las muestras que presentaran los mejores resultados en cuanto a los datos mencionados con anterioridad.

**Tabla 5. Influencia de la adición de catalizador y acelerador en el gelado de los aglomerados**

1% INICIADOR		2% INICIADOR		3% INICIADOR	
Catalizador %	Tiempo de gel (mín)	Catalizador %	Tiempo de gel (mín)	Catalizador %	Tiempo de gel (mín)
0.2	59	0.2	18	0.2	16
0.5	49	0.5	12	0.5	11
1.0	43	1.0	9.5	1.0	8.5
1.5	23	1.5	9	1.5	7
2.0	16	2.0	10	2.0	6.5
2.5	15	2.5	9.5	2.5	6

Fuente. El autor

### 3.2.2 Madera plástica

**Tabla 6. Caracterización de la madera plástica**

ABS-PC: Aserrín	BRILLO	TEXTURA	RIGIDEZ	GRADO COMPACTACIÓN	DISTRIBUCIÓN CARGA
30:70	opaca	Rugosa/áspera	maleable	medio	mala
40:60	opaca	Poco Rugosa/áspera	maleable	medio	regular
50:50	poco brillo	Poco rugosa/áspera	rígido	alto	buena
60:40	brillante	Lisa/suave	rígido	alto	buena
70:30	brillante	Lisa/suave	rígido	alto	muy buena

Fuente. El autor

Debido al exceso de carga en la mezcla, se observó en las muestras 30:70 y 40:60, poca adherencia entre el aserrín y el polímero. La matriz polimérica no cumple cabalmente con sus funciones principales, como transmitir los esfuerzos a la carga a través de la interfaz, unir la carga por medio de fuerzas adhesivas y asegurarla de acuerdo al orden establecido.

Como resultado se obtiene disminución en las propiedades físicas y mecánicas del material, estos eventos motivaron a no realizarles ensayos de resistencia mecánica. Hecho contrario se observó en las muestras 40:60, 50:50, 60:40 y 70:30 donde se evidenció buena compactación obteniendo un material con buena rigidez, con una textura suave y lisa. Estas tres muestras presentaron características visibles muy similares pero teniendo cuenta las principales aportaciones que ofrecen las cargas al material tales como disminuir el peso de la pieza y reducir la contracción de la matriz, se decidió no tener en cuenta la muestra 70:30. Se tuvieron en cuenta aquellas muestras que presentaron un grado de compactación alto, buena rigidez y textura lisa y suave. Teniendo en cuenta lo anterior se escogieron las muestras 50:50 y 60:40 para la formulación final del aglomerado.

### 3.2.3 Plástico reforzado

Tabla 7. Caracterización del plástico reforzado

ABS-PC:CaCO <sub>3</sub>	TEXTURA	RIGIDEZ	GRADO COMPACTACIÓN	DISTRIBUCIÓN CARGA
30:70	Rugosa/áspera	rígido	medio	regular
40:60	Poco Rugosa/áspera	rígido	medio	regular
50:50	Poco rugosa/áspera	rígido	alto	buena
60:40	Lisa/suave	rígido	alto	buena
70:30	Lisa/suave	rígido	alto	muy buena

Fuente. El autor

Para el caso del plástico reforzado se utilizaron los mismos criterios para la escogencia de la formulación final del aglomerado. Durante el proceso de curado se originan esfuerzos de contracción en el polímero; originando grietas, rechupes y demás defectos superficiales no deseados en el material. A medida que aumenta el porcentaje en peso de carga en la muestra, estos defectos se evidencian más. La muestra 30:70, la cual no se tuvo en cuenta para la siguiente fase debido a sus defectos superficiales y la distribución no uniforme de carga. Las demás muestras presentaron una distribución de carga más homogénea a medida que aumentaba el porcentaje en peso del polímero. Las muestras 60:40 y 70:30 se descartaron debido a la cantidad de polímero que contienen, ya que uno de los objetivos de este estudio es diseñar un material donde los costos de materia prima sean inferiores a los requeridos para diseñar un material con RVP, ya que el CaCO<sub>3</sub> se consigue a bajo costo en el mercado. Tomando en cuenta las observaciones anteriores, se determinó que las muestras 40:60 y 50:50 son las más favorables, ya que no presentan defectos superficiales y estas proporciones son prometedoras a nivel industrial en cuanto a costos de materia prima.

### 3.3 RESISTENCIA A AGENTES QUÍMICOS

#### 3.3.1 Madera plástica

Se evaluaron las respuestas a los agentes químicos en soluciones acuosas con ácidos, bases y sales al 10 % V/V. Los resultados se describen en la tabla 8.

Tabla 8. Resistencia al ataque químico de la madera plástica

MUESTRAS	HIDRÓXIDO DE SODIO	CLORURO DE POTASIO	ÁCIDO SULFÚRICO	ÁCIDO CLORHÍDRICO
ABS-PC: Aserrín 40 :60	Disgregación mínima del material (1) Cambio de olor.	Cambio notable de color. (obscurecimiento)	Deshidratación del material. (2) Cambio de color (obscurecimiento)	Cambio notable de color. (3) (blanqueamiento)
RPV: Aserrín 40 : 60	Disgregación muy mínima del material. Cambio de olor.	Cambio de color. (obscurecimiento)	Deshidratación mínima del material. Cambio de color (obscurecimiento)	Cambio de color. (blanqueamiento)
ABS-PC: Aserrín 50 : 50	Disgregación mínima del material. Cambio de olor.	Cambio notable de color. (obscurecimiento)	Deshidratación del material. Cambio de color (obscurecimiento)	Cambio notable de color. (blanqueamiento)
RPV: Aserrín 50 : 50	Disgregación muy mínima del material. Cambio de olor.	Cambio de color. (obscurecimiento)	Deshidratación mínima del material. Cambio de color (obscurecimiento)	Cambio de color. (blanqueamiento)

Fuente. El autor

(1) La acción del Hidróxido de Sodio provoca la disminución de la resistencia y del peso de la muestra, ya que ocasiona la disolución de la lignina y de la hemicelulosa; dos componentes fundamentales de la madera que aportan rigidez [1].(2) El ácido sulfúrico ataca la madera deshidratándola, quedando carbono negro[2].(3) El ácido clorhídrico produce la hidrólisis de la celulosa, causando una pérdida permanente de su resistencia mecánica.

El ABS presenta una buena resistencia química aunque depende de la cantidad de polímero, de la concentración química, de la temperatura y de los esfuerzos sobre las partes. En general no es afectado por el agua, sales inorgánicas, álcalis y por otros ácidos. Las muestras son un material compuesto de ABS-PC: Aserrín y RPV: Aserrín las cuales sufren algunas alteraciones por la acción de ácidos fuertes y álcalis (NaOH) ya que estas sustancias atacan la madera (aserrín), es por esto que las muestras que presentan mayores cambios son las que tienen un mayor porcentaje de aserrín en su composición. Los resultados evidencian que tanto la matriz polimérica de ABS-PC como la de RPV, logran resguardar en cierta medida las fibras de aserrín de los ataques químicos, siendo esta una de sus funciones principales.

### 3.3.2 Plástico reforzado

Se evaluaron respuestas a los agentes químicos en soluciones acuosas con ácidos, bases y sales al 10 % V/V. Los resultados se describen en la tabla 9.

Tabla 9 Resistencia al ataque químico del plástico reforzado

MUESTRA	HIDRÓXIDO DE SODIO	CLORURO DE POTASIO	ÁCIDO SULFÚRICO	ÁCIDO CLORHÍDRICO
ABS-PC: CaCO <sub>3</sub> 40:60	Cambio notable de color (obscurecimiento)	No hay cambio notorio en sus propiedades físicas	No hay cambio notorio en sus propiedades físicas	Cambio notable de color (despigmentación) <sup>(2)</sup>
RPV: CaCO <sub>3</sub> 40:60	Cambio de color (obscurecimiento)	No hay cambio notorio en sus propiedades físicas	No hay cambio notorio en sus propiedades físicas	Cambio notable de color (despigmentación)
ABS-PC: CaCO <sub>3</sub> 50:50	Cambio de color (obscurecimiento)	No hay cambio notorio en sus propiedades físicas	No hay cambio notorio en sus propiedades físicas	Cambio de color (despigmentación)
RPV: CaCO <sub>3</sub> 50:50	Cambio de color (obscurecimiento)	No hay cambio notorio en sus propiedades físicas	No hay cambio notorio en sus propiedades físicas	Cambio de color (despigmentación)

Fuente. El autor

(2) El ácido clorhídrico ataca el carbonato de calcio y se produce desprendimiento de CO<sub>2</sub>

Los resultados indican como los ácidos fuertes y álcalis (NaOH) atacan las muestras con mayor porcentaje de carbonato de calcio, estas son las que indican cambios más notorios en sus propiedades físicas. Con el fin de realizar el posterior seguimiento de propiedades físico mecánicas, las probetas seleccionadas en base a la caracterización mencionada con anterioridad, se presentan en la tabla 10. Nota: Para efectos de comparación con el blanco, se recuerda que todas las probetas de ABS-PC tienen duplicado elaborado con RPV en las mismas condiciones y proporciones

Tabla 10. Probetas seleccionadas para determinar propiedades mecánicas

AGLOMERADO	PROPORCION ABS-PC:CARGA
Plástico reforzado	40 : 60
	50 : 50
	50 : 50
	60 : 40

Fuente. El autor

### 3.4 DETERMINACION DE LA DENSIDAD APARENTE

Tabla 11. Densidad aparente de la madera plástica

MUESTRA		MASA [g]	VOLUMEN [mL]	DENSIDAD [g/mL]
ABS-PC:	40:60	3,97	0,5	7,94
Aserrín	50:50	4,06	0,46	8,83
RPV: Aserrín	40:60	3,59	0,38	9,45
	50:50	4,06	0,43	9,44

Fuente. El autor

Tabla 12. Densidad aparente del plástico reforzado

MUESTRA		MASA [g]	VOLUMEN [mL]	DENSIDAD [g/mL]
ABS-PC: CaCO <sub>3</sub>	40:60	4,71	0,28	16,82
	50:50	5,08	0,3	16,93
RPV: CaCO <sub>3</sub>	40:60	4,68	0,24	19,50
	50:50	5,3	0,31	17,10

Fuente. El autor

Una de las características importantes de los materiales compuestos es su densidad ya que teniendo en cuenta su consistencia y en conjunto con otras propiedades como las estudiadas en esta investigación, se especifica el uso final dependiendo de los requerimientos del usuario.

En las tablas 11 y 12 se expone el promedio de los resultados de 3 mediciones para cada aglomerado, notando una especial ventaja con respecto al testigo en ambos casos (madera plástica y plástico reforzado). Las muestras analizadas de ABS-PC: carga en las dos proporciones con los dos tipos de carga, presentan una densidad menor que el testigo lo cual conduce a razonar sobre la ventaja de adicionar carga al material y es que disminuye su relación peso/volumen.

Debido a que la densidad aparente varía principalmente en función de las características estructurales, es posible inferir condiciones de mayor compactación en las muestras con menor porcentaje de carga, este suceso se presenta en todos los casos estudiados tanto para la variación entre proporciones de ABS-PC: carga y testigo.

### 3.5 PROPIEDADES MECANICAS

En los ensayos de las propiedades mecánicas, se expone el promedio de resultados de 5 mediciones para cada una de las de las muestras escogidas en la formulación de los aglomerados.

### 3.5.1 Ensayos de flexión e impacto

Tabla 13. Ensayos de flexión e impacto en la madera plástica

PROPIEDAD	RPV: ASERRÍN		ABS-PC: ASERRÍN	
	60:40	50:50	60:40	50:50
Módulo de flexión [GPa]	1.93	2.02	2,76	2,85
Resistencia a la flexión [MPa]	46,4	42.1	42.3	39.9
Resistencia al impacto [kJ/m <sup>2</sup> ]	1.6	1.9	1.9	2.01

Fuente. El autor

Tabla 14. Ensayos de flexión e impacto en el plástico reforzado

PROPIEDAD	RPV: CaCO <sub>3</sub>		ABS-PC: CaCO <sub>3</sub>	
	50:50	40:60	50:50	40:60
Módulo de flexión [GPa]	1.88	2.04	3.06	3.22
Resistencia a la flexión [MPa]	52.4	50.9	50.2	46.5
Resistencia al impacto [kJ/m <sup>2</sup> ]	2.3	2.73	2.41	2.89

Fuente. El autor

En las tablas 13 y 14 se observa que los aglomerados de ABS-PC: Carga son menos flexibles que los aglomerados de RPV: Carga, igualmente se puede notar que la resistencia a la flexión va decreciendo a medida que el porcentaje en peso de carga va aumentando. En el caso de la madera plástica, esa disminución se debe posiblemente a que el aserrín es un derivado lignocelulósico que le aporta rigidez al material. La muestra 60:40 es la más compacta, razón por la cual sus enlaces ofrecen mayor oposición a ser deformados por una fuerza externa; lo mismo pasa con la muestra 50:50 para el plástico reforzado.

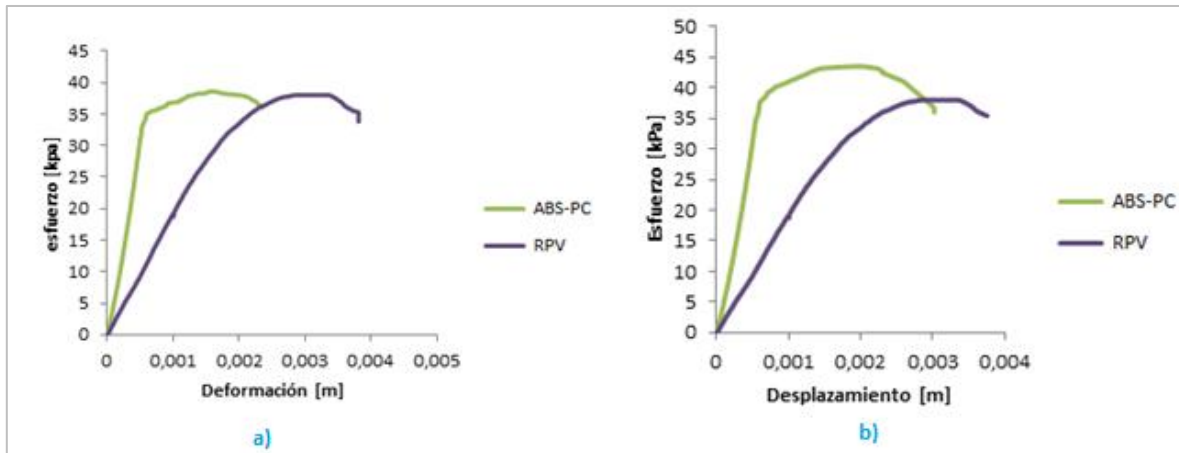
En los ensayos de impacto, los aglomerados de RPV son menos tenaces que los de ABS-PC, debido a que el material no absorbe la energía suficiente transmitida por el péndulo de ensayos. Si se aumenta el porcentaje en peso de carga en el material se obtiene un aglomerado más resistente al impacto y esto se debe a una disminución entre las fuerzas polímero-carga. Se encuentra que las propiedades mecánicas de la muestra dependen principalmente del porcentaje en peso de las cargas y no de las propiedades mecánicas y reológicas de la matriz polimérica.

### 3.5.2 Ensayo de compresión

A partir de los ensayos de compresión, se obtienen las curvas esfuerzo deformación de los materiales fallados.

#### 3.5.2.1 Ensayo de compresión para la madera plástica

Ilustración 4. Ensayo a compresión ABS-PC. a) Aserrín y testigo para la probeta 60:40, Aserrín y testigo para la probeta 50:50



Fuente. El autor

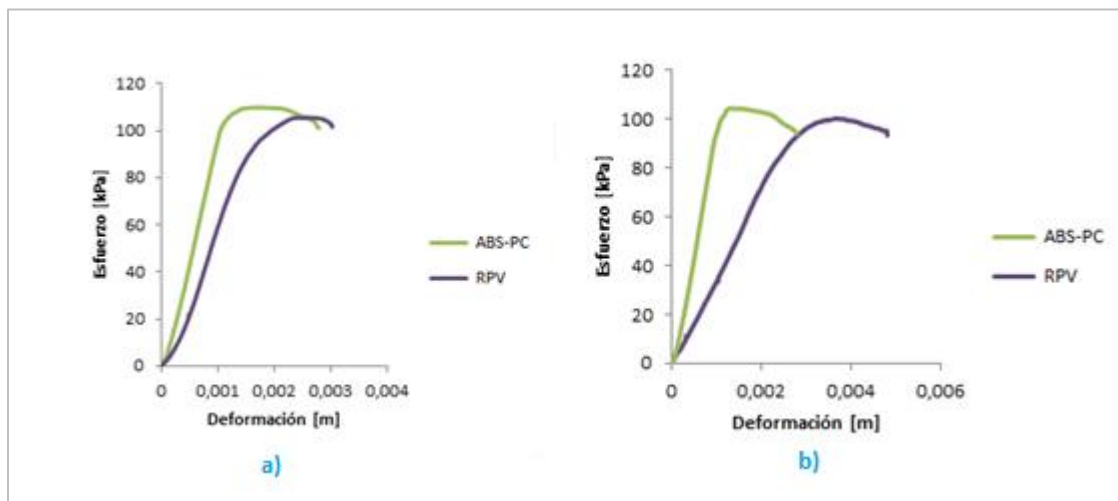
Se puede observar en la ilustración 4, que la matriz polimérica de ABS-PC permitió alojar de forma eficiente las partículas de aserrín, hecho que se evidencia en el comportamiento presentado durante el ensayo, siendo un material dúctil que sufre deformación plástica, con resistencia a un esfuerzo aplicado superior (38,634 kPa) a la que puede soportar el testigo (37,963 kPa), el cual presenta un comportamiento similar, pero permite una mayor deformación en respuesta a la tensión generada por la fuerza suministrada sobre sí. Las muestras ensayadas presentaron fractura en un punto específico lo cual significa que en esa zona el material es frágil debido posiblemente a la distribución no uniforme entre polímero y carga por defectos de adherencia interfacial en dicho punto.

El aglomerado de ABS-PC sufre deformación plástica, admitiendo la fuerza (43,503 kPa) máxima para poder superar las resistencias asociadas al cambio de configuración microestructural, característico en un material dúctil. Por otra parte, el testigo muestra un comportamiento semejante al aglomerado de interés pero con una resistencia considerablemente menor (37,969 kPa), lo cual indica que hay mejor interacción entre las fases de ABS-PC: Aserrín que la presentada por las fases del testigo, hecho que conlleva a pensar que hay espacios creados en la matriz del material, con fallas estructurales que lo habilitan para alcanzar más rápidamente su punto de fractura mediante la aplicación de una menor fuerza.

Las ilustraciones expuestas, muestran que aunque los materiales fueron preparados de manera semejante, su estructura varía, notándose en la respuesta del material frente al esfuerzo aplicado. Entre las dos probetas se deduce que la más adecuada para aplicaciones de compresión es la muestra 50:50, debido a que a medida que se incorpora aserrín a la matriz polimérica, el aglomerado resultante pierde resistencia. En comparación con el testigo, las probetas falladas poseen las características adecuadas para reemplazar materiales compuestos elaborados a partir de resina poliéster y aserrín.

### 3.5.2.2 Ensayo de compresión para el plástico reforzado

Ilustración 5. Ensayo de compresión ABS-PC. a)  $\text{CaCO}_3$  y testigo para la probeta 40:60, b)  $\text{CaCO}_3$  y testigo para la probeta 50:50



Fuente. El autor

Evidentemente, el plástico reforzado posee una muy buena resistencia a la compresión, soportando grandes cargas antes de fallar. En la ilustración 5 se puede notar que el aglomerado de ABS-PC puede resistir mayor fuerza aplicada (104.256 kPa) que el testigo (100.183 kPa) y su deformación es de hecho menor, esto puede ser causado probablemente porque la resina sufre una contracción en el curado, lo cual impide posiblemente la humectación del total de las partículas de carbonato de calcio y por ende, genera la aparición de espacios intermoleculares por los cuales el esfuerzo se extiende, llevando más rápidamente el material a la fractura. Una ventaja adicional frente al testigo, es que el aglomerado de ABS-PC experimenta durante el ensayo un ensanchamiento a nivel interno, hasta hacerse notorio en la superficie a lo largo de la altura de la probeta y no experimenta desprendimiento de sus partes después de la fractura, como sucede con la resina, de esta manera los aglomerados de ABS-PC llegan a ser un material con propiedades mejoradas y más seguro.

En la ilustración b) se evidencia el mismo patrón reflejado con anterioridad en la muestra 40:60 para el ABS-PC con respecto a la resina poliéster virgen en función de su elevada resistencia a la compresión. La matriz polimérica de ABS-PC permite que el carbonato de calcio se distribuya uniformemente a través de la probeta permitiendo que el arreglo en su microestructura tenga menos fallas por donde el material empieza a romperse.

Se presentó una variación entre los niveles de resistencia de los aglomerados de ABS-PC en función de la cantidad de carga empleada para cada uno, reflejándose una disminución significativa en el esfuerzo máximo soportado por la probeta 40:60 con respecto a la probeta 50:50, esto implica que el material pierde resistencia con el incremento en la proporción de  $\text{CaCO}_3$ .

### 3.5.3 Módulo de elasticidad

La razón entre el incremento de esfuerzo y el cambio correspondiente a la deformación unitaria para los materiales fallados se presenta en la tabla 15.

Tabla 15. Módulo de Young para los aglomerados de madera plástica y plástico reforzado

MUESTRA		FUERZA [kN]	ESFUERZO [kPa]	DEFORMACION [mm]	MODULO [kN/M2]
ABS-PC: Aserrín	60:40	16.6930	36.0068	0.57	29.286
	50:50	19.0084	37.5435	0.69	27.548
RPV: Aserrín	60:40	16.0292	36.6033	0.7	27.899
	50:50	16.4469	32.6054	0.6	27.412
ABS-PC:CaCO <sub>3</sub>	40:60	49.3515	100.5383	1.3	37.963
	50:50	49.3655	103.5666	1.0	49.366
RPV: CaCO <sub>3</sub>	40:60	47.6323	95.0356	1.4	34.023
	50:50	49.4488	97.7362	1.1	44.953

Fuente. El autor

Con los valores del módulo de Young, obtenidos a partir de los ensayos de compresión, se puede afirmar que los materiales elaborados con ABS-PC, son más rígidos que los hechos con RPV pues son más difíciles de deformar a medida que soportan un esfuerzo aplicado, por ende, pueden ser utilizados a nivel industrial como alternativa al uso de resina poliéster y a su vez, coadyuvan en la reducción del impacto económico y ambiental.

## RECOMENDACIONES

Se sugiere continuar con el estudio referente a aditivos que ayuden a mejorar la apariencia de los materiales con mayor cantidad de carga, encontrando factores que irrumpen en la adhesión interfacial entre polímero-aserrín y/o polímero-CaCO<sub>3</sub>, además de estudiar la posibilidad de incorporar plastificantes en la estructura del aglomerado con el fin de disminuir el ataque químico por parte de diferentes especies.

Dadas las características de los materiales elaborados, se recomienda hacer aleaciones poliméricas, dispersando en la misma matriz otro plástico que tenga dificultades para su reciclaje y que en combinación con el ABS-PC, permita mejorar sus propiedades; de esta manera se contribuye aún más a la problemática ambiental a la cual estamos expuestos actualmente, mediante la obtención de aglomerados poliméricos con valor agregado.

A partir de la caracterización de los materiales obtenidos en esta investigación, se sugiere adicionar pigmentos de origen mineral u orgánico que se utilizan como colorantes para mejorar sus cualidades, dependiendo de las características que se desee para su uso final.

## CONCLUSIONES

En base a las pruebas cualitativas y análisis espectroscópicos con el IR se pudo concluir que el material polimérico del que están hechos los encendedores de bolsillo no recargables es Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS).

Para la formulación final de los aglomerados ABS-PC: aserrín y ABS:  $\text{CaCO}_3$ , se determinó que para cada material, los mejores resultados se obtuvieron con la combinación 50:50, debido a que ésta reportó resultados más consecuentes con la finalidad de éste estudio en cuanto a sus propiedades físico-mecánicas, su resistencia parcial a agentes químicos y su buena relación resistencia/peso.

Los aglomerados obtenidos en este estudio, pueden ser una alternativa de reciclaje, debido a que el uso de estas cargas contribuye a reutilizar un residuo industrial, además permite reincorporar al ciclo de vida útil el ABS-PC proveniente de una fuente de desecho contaminante y darle un valor agregado, garantizando un producto económico y con propiedades mejoradas que puede reemplazar satisfactoriamente a aquellos productos elaborados con resina poliéster.

Una de las características más importantes de los materiales obtenidos, son aquellas relacionadas con su uso final, las propiedades mecánicas que estos materiales poseen los hacen apropiados para diferentes usos en los que se requiera buena resistencia a la compresión (propiedad inherente para ambos aglomerados), a la flexión (apreciada solo en plástico reforzado), e impacto (propia de la madera plástica).

## BIBLIOGRAFIA

- [7] ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno) <<<http://quimica.laguia2000.com/compuestos-quimicos/abs-acrilonitrilo-butadieno-estireno>>>
- [22] BELTRÁN, J. (1974). *Química avanzada nuffield, libro del alumno 1*. Reverté s.a. (134-135)
- [13] BESEDNJAK ALEJANDRO. Materiales compuestos: proceso de fabricación de embarcaciones. P 27-28.
- [6] BILURBINA. LUIS and LIESA FRANCISCO. Materiales no metálicos resistentes a la corrosión. Marcombo S.A 1990. P. 35-36
- [23] BORSELLINO, C., Calabrese, L. and Di Bella G. *Effects of powder concentration and type of resin on the performance of marble composite structures*.
- [2] CALLISTER, WILLIAM. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales, Vol 2. P. 549-550
- [16] Departamento administrativo nacional de estadísticas (DANE). Avenida Quebrada Seca No. 30-12, piso 1. Bucaramanga, Santander.
- [10] Effects of powder concentration and type of resin on the performance of marble composite structures.
- [24] FRED W. BILLMEYER, JR. (2004). *Ciencia de los polímeros*. Reverté s.a (23)
- [5] GONZALES VIÑAS. WENCESLAO and MANCINI. HECTOR L. Ciencia de los materiales. P. 93
- [3] GROOVER. MIKELL P. Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas. P. 234-236
- [4] LANTZ. J.M ABS and related multipolymers. Modern Plastics Encyclopedia. Vol 61. McGraw Hill. 1984-1985. p. 6-7
- [18] LAFUENTE, S, V., BURGUETE AZCARATE, M,I. Y ALTAVA BENITO, B, A. (1997). *Introducción a la química orgánica*. Universidad Jaume. (89).
- [12] Manual Academia Confibres's curso de uso y manejo de resinas.

[21] MUN, K.J. AND CHOI N.W. (2007). *Properties of poly methyl methacrylate mortars with unsaturated polyester resin as a crosslinking agent*. R&D Center, Hanil Co., LTD, 560-18, Heungam-Ri Whangkung-Myoun, Iksan 570-946, R&D Center, Samsung Chemicals Co., LTD, Taejeon 305-380, South Korea.

[20] OHAMA, Y., DEMURA, K. AND KOBAYASHI, T. (1981), *Mix proportioning and mechanical properties of polymethyl methacrylate resin concrete*. *Trans Jpn Concrete Inst.* (97–104).

[19] OSORIO GIRALDO, R.D. (2009). *Manual de técnicas de laboratorio químico*. Universal de Antioquia (50)

[11] PADILLA.ARMANDO, SANCHEZ ANTONIO y RIOS LEONARDO. Información Tecnológica. Polipropileno de bajo punto de inflamación relleno con polvo de madera.

[9] PEREIRA UZAL. JOSE M. Materiales y técnicas aplicados al moldeo y vaciado de obras de arte. P. 99

[8] SEYMOUR. RAIMOND B and CARRAHER. CHARLES E. Introducción a la química de los polímeros. Editorial Reverté S.A 1995. P 47-48

[14] TANG, C.Y Y LIANG, J.Z. (2003). *A study of the melt flow behaviour of ABS/CaCO<sub>3</sub> composites*. Department of Industrial and Systems Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Department of Industrial Equipment and Control Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641 Hung Hom, Kowloon, Hong Kong, PR China.

[15] TANNIRU, M. AND MISRA R.D.K. (2005). *On enhanced impact strength of calcium carbonate-reinforced high-density polyethylene composites*. Center for Structural and Functional Materials, University of Louisiana at Lafayette, P.O. Box 44130, Lafayette, LA 70504-4130, Department of Chemical Engineering, University of Louisiana at Lafayette, P.O. Box 44130, Lafayette, LA 70504-4130, USA

[1] Tecnología de proceso y transformación de materiales. Pág. 145

[17] VALENZUELA, C. (1995). *Química general: Introducción a la química*. Universidad de Salamanca. (300).

## ANEXOS

### ANEXO A. ESTRUCTURAS MOLECULARES

Ilustración 7. Estructura molecular Resina Poliéster.

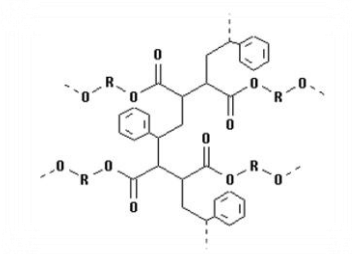


Ilustración 8. Estructura molecular Acrilonitrilo Butadieno Estireno ABS.

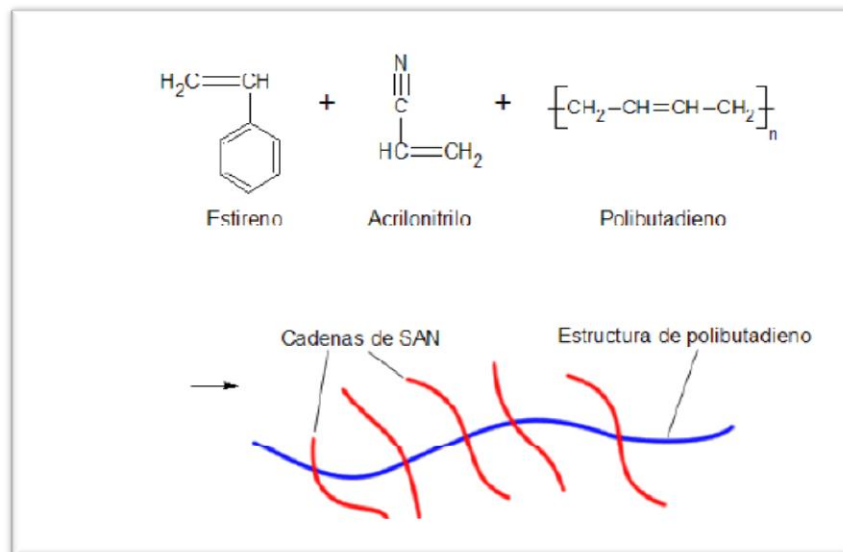


Ilustración 9. Estructura molecular Metil Metacrilato.

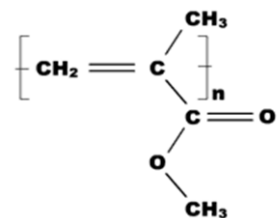


Ilustración 9. Estructura molecular Naftenato de Cobalto.

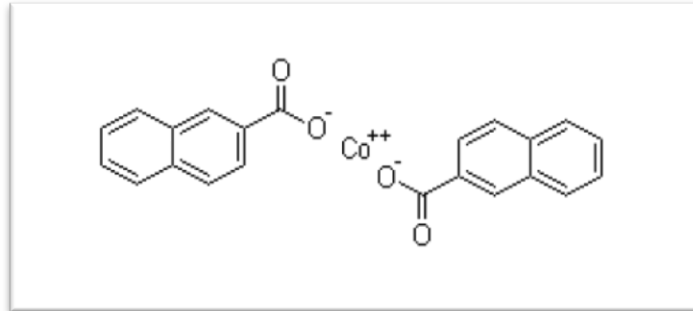


Ilustración 10. Estructura molecular Metil- etil- cetona MEK.

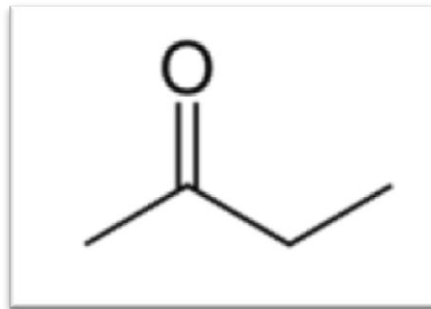
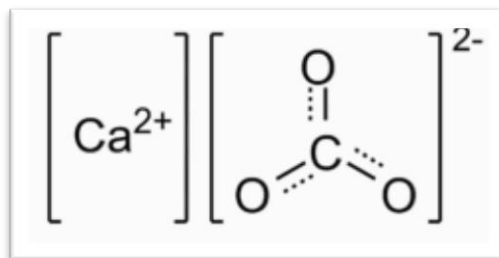
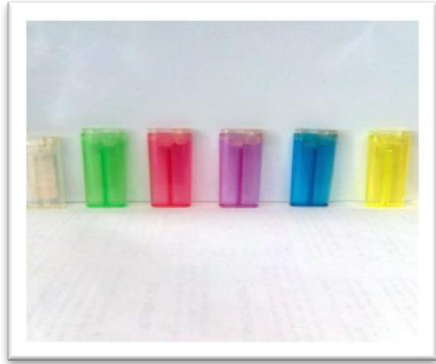


Ilustración 11. Estructura molecular Carbonato de Calcio.



## ANEXO B. MATERIAS PRIMAS

### ✓ Recolección Encendedores



### ✓ Dispersión de ABS en Metil-metacrilato



### ✓ Carga

Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ )



Aserrín malla < 20

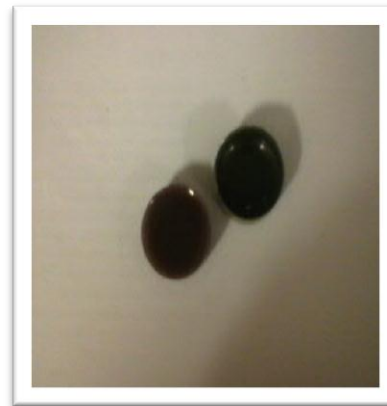
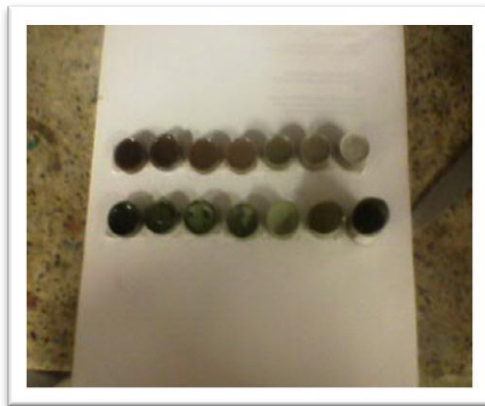


## ANEXO C. AGLOMERADOS



ABS-PC

RPV



## ANEXO D. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGLOMERADOS-MADERA PLASTICA

### ✓ Resistencia al hidróxido de sodio (NaOH)

ABS 40% - Aserrín 60%

ABS 50% - Aserrín 50%



Resina 40% - Aserrín 60%



✓ Resistencia a ácido sulfúrico

ABS 50% - Aserrín 50%



✓ Resistencia ácido clorhídrico (HCl)

ABS 50% - Aserrín 50%



✓ **Resistencia a la compresión**

Resina 500% - Aserrín 50%

ABS 40% - Aserrín 60%

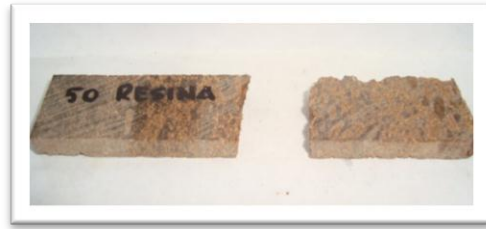


✓ **Resistencia a la flexión**

ABS 50% - Aserrín 50%



Resina 50% - Aserrín 50%



✓ Resistencia al impacto

ABS 50% - Aserrín 50%



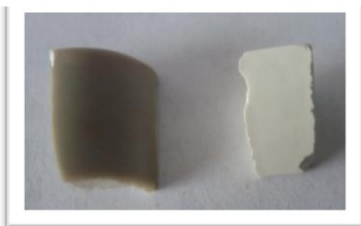


## ANEXO E. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGLOMERADOS-PLÁSTICO REFORZADO

### ✓ Resistencia ácido clorhídrico (HCl)

Resina 40% -  $\text{CaCO}_3$  60%

ABS 50% -  $\text{CaCO}_3$  50%



✓ **Resistencia a la compresión**

Resina 50% - CaCO<sub>3</sub> 50%

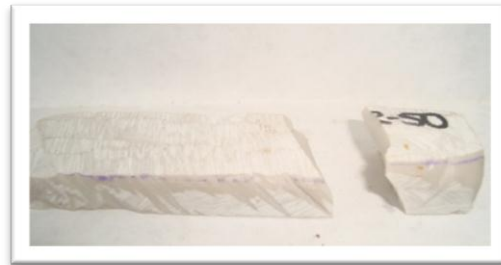
ABS 50% - CaCO<sub>3</sub> 50%



✓ **Resistencia al impacto**

ABS 50% - CaCO<sub>3</sub> 50%

Resina 50% - CaCO<sub>3</sub>50%



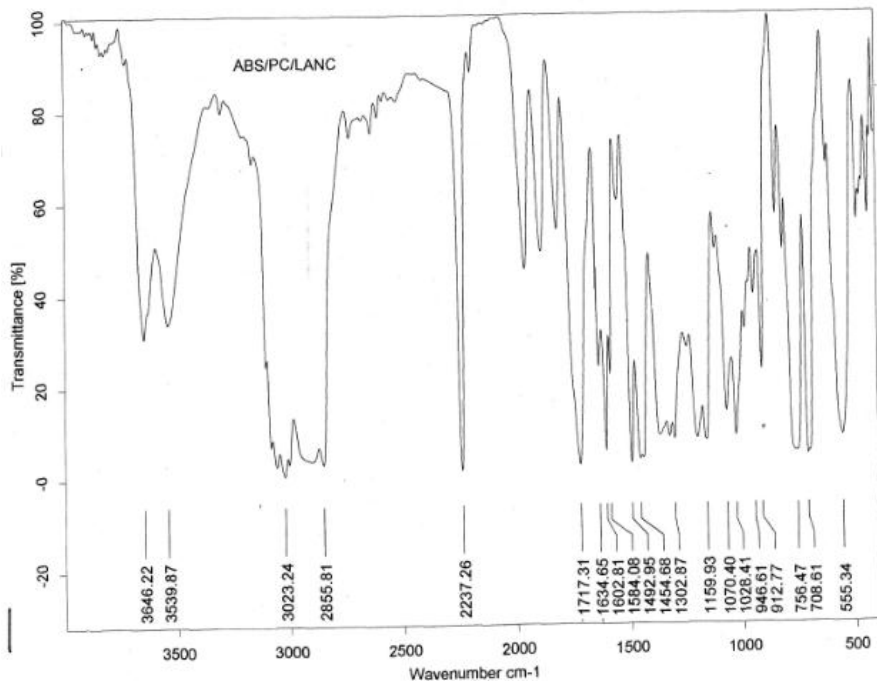
✓ **Resistencia a la flexión**

Resina 40% - CaCO<sub>3</sub> 60%

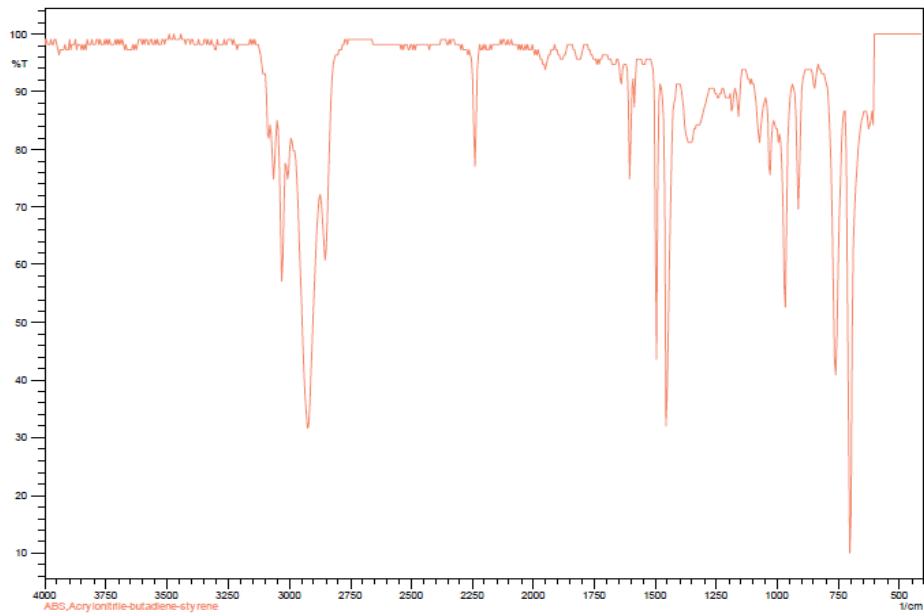
Resina 40% - CaCO<sub>3</sub>60%



## ANEXO F. IR ABS-PC



## ANEXO G. IR DE ABS



## ANEXO H. ANALISIS DEL ESPECTRO INFRARRJO PARA EL ABS-PC

Tabla 2 Análisis del espectro infrarrojo para el ABS-PC

RANGO DE ABSORCIÓN	ENLACE	TIPO DE ENLACE	TIPO ESPECÍFICO DE ENLACE
708.61, 756.47	C-H	vinilo	
912.77	C-H	vinilo	alqueno monosustituido
1028.41-1159.93	C-N	aminas alifáticas	
1454.68, 1492.95, 1584.08	C=C	C=C aromático	
1602.81	C=C	C=C conjugado	con C=O
1717.31	C=C	cetona	
2237.26	C-N	nitrilos (enlace triple C-N)	
2855.81	C-H	alquilo	metino
3023.4	C-H	vinilo	C=CH
3539.87	O-H	ácidos carboxílicos	
3646.22	O-H	alcoholes, fenoles	

Fuente. Douglas A. Skoog, Donald M. west Fundamentos de Química Analítica. Página 828

Tabla 3 Análisis del espectro infrarrojo para el ABS puro

RANGO DE ABSORCIÓN	ENLACE	TIPO DE ENLACE	TIPO ESPECÍFICO DE ENLACE
700, 750	C-H	aromático	benceno monosustituido
900, 950	C-H	vinilo	alqueno monosustituido
1450,1500,1580,1600	C=C	C=C aromático	
2250	C-N	nitrilos (enlace triple C-N)	
2850,2925	C-H	alquilo	metileno
3020	C-H	vinilo	C=CH

Fuente. Douglas A. Skoog, Donald M. west Fundamentos de Química Analítica. Página 828

## **ANEXO I. ESPECIFICACIONES DE LAS NORMAS ASTMAMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS**

### **1. NORMA ASTM D 792**

#### **Métodos de prueba estándar para determinar la densidad y gravedad específica (densidad relativa) de plásticos por desplazamiento**

##### **Significado y uso**

La densidad es la masa por unidad de volumen de un material. La gravedad específica es una medida de la relación de la masa de un volumen dado de material a 23 ° C en el mismo volumen de agua desionizada. La gravedad específica y la densidad son especialmente relevantes porque el plástico se vende en un costo por libra y una menor densidad o peso específico significa más material por libra o peso de las piezas variadas; A su vez son propiedades que convenientemente son medidas para identificar un material, seguir los cambios físicos en una muestra, para indicar el grado de uniformidad entre las diferentes unidades de muestreo o muestras, o para indicar la densidad media de un elemento grande.

Estos métodos de ensayo describen la determinación de la densidad de sólidos plásticos en formas tales como láminas, varillas, tubos o artículos moldeados.

Dos métodos de prueba se describen:

- Método de ensayo A-Para las pruebas de plásticos sólidos en agua
- Método de Prueba B-Para las pruebas de plásticos sólidos en líquidos distintos del agua.

Esta norma no pretende señalar todos los problemas de seguridad, en su caso, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma para establecer la seguridad y las prácticas apropiadas de salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

## **2. ASTM D3410**

### **Método de prueba estándar para propiedades de compresión de materiales compuestos de matriz de polímero**

#### **Significado y Uso**

Este método de ensayo está diseñado para producir los datos de compresión, propiedad de las especificaciones de materiales, investigación y desarrollo, aseguramiento de la calidad, diseño estructural y análisis. Los factores que influyen en la respuesta a la compresión son: materiales, métodos de preparación de materiales y bandeja, secuencia de apilado, la preparación de muestras, acondicionamiento de muestra, el medio ambiente de la prueba, la alineación de la muestra y de agarre, la velocidad de la prueba, el contenido de huecos y el refuerzo por ciento en peso. Propiedades que se pueden obtener de este método de prueba son:

- Resistencia a la compresión máxima
- Tensión de compresión máxima
- Compresión (lineal o acorde) el módulo de elasticidad
- Relación de Poisson de la compresión
- Transición cepa.

Este método determina el plano de las propiedades de compresión de materiales compuestos de matriz polimérica reforzado con fibras de alto módulo. Las formas de material compuesto se limitan a compuestos reforzados con fibra continua o discontinua para que las propiedades elásticas estén especialmente ortotrópicas con respecto a la dirección de prueba. Este procedimiento de ensayo introduce la fuerza de compresión en la muestra a través de interfaces de control de corte recto.

Este método de ensayo es aplicable a los materiales compuestos a partir de cinta unidireccional, textil (por ejemplo, tejido), las fibras cortas, o formas similares de

productos. Algunas formas de los productos pueden requerir desviaciones del método de ensayo.

Los valores indicados en unidades SI o en unidades pulgada-libra deben ser considerados como los estándares. En el texto de la libra-pulgadas, las unidades se muestran entre paréntesis. Los valores indicados en cada sistema no son exactamente equivalentes, por lo tanto, cada sistema debe ser utilizado independientemente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede resultar en una no conformidad con la norma.

### **3. NORMA ASTM D790**

#### **Método de prueba estándar para propiedades de flexión de plásticos reforzados y no reforzados y materiales de aislamiento eléctrico**

##### **Significado y Uso**

Las propiedades de flexión según lo determinado por estos métodos de ensayo son especialmente útiles para el control de calidad y especificaciones. Los materiales que no aplican por la tensión máxima permitida en virtud de estos métodos de ensayo (3 puntos de inflexión) puede ser más adecuado para un ensayo de flexión de 4 puntos. La diferencia básica entre los dos métodos de prueba está en la ubicación del momento máximo de flexión y tensiones máximas de fibra axial. Las tensiones máximas de fibra axial ocurre en una línea debajo de la nariz de carga en tres puntos de flexión y sobre el área entre la nariz de carga en flexión de 4 puntos.

Propiedades de flexión puede variar con la profundidad de la muestra, la temperatura, las condiciones atmosféricas, y la diferencia en la tasa de esfuerzo. Antes de proceder con estos métodos de prueba, se debe hacer referencia a la especificación ASTM del material a ensayar. Los parámetros de cualquier preparación de la muestra de prueba, el acondicionamiento, las dimensiones, o pruebas, o combinación de ellos, cubiertos en las

especificaciones del material ASTM tendrán prioridad sobre los mencionados en los métodos de prueba.

Estos métodos de ensayo cubren la determinación de las propiedades de flexión de plásticos reforzados y no reforzados, incluso de alto módulo, materiales compuestos y aislantes eléctricos en forma de barras rectangulares moldeadas directamente o cortadas de hojas, placas o formas moldeadas. Estos métodos de ensayo son generalmente aplicables a materiales rígidos y semirrígidos. Sin embargo, la resistencia a la flexión no se puede determinar para aquellos materiales que no se rompan o que no fallan en la superficie exterior de la probeta de ensayo dentro del límite de tensión de 5.0% de estos métodos de prueba. Estos métodos de prueba utilizan un sistema de carga de tres puntos se aplica a una viga simplemente apoyada. Un método de carga de cuatro puntos del sistema se encuentra en el método de prueba D6272.

Existen dos procedimientos para la realización de las pruebas:

**Procedimiento A** diseñado principalmente para los materiales que se rompen las desviaciones relativamente pequeñas.

**Procedimiento B** diseñado especialmente para aquellos materiales que se someten a grandes deformaciones durante la prueba.

El procedimiento A se utiliza para la medición de las propiedades de flexión, el módulo de flexión sobre todo, a menos que las especificaciones del material no apliquen. El procedimiento B puede ser utilizado para la medición de la resistencia a la flexión solamente.

Los valores indicados en unidades SI deben ser considerados como la norma. Los valores dentro de paréntesis, son sólo a título informativo.

#### **4. NORMA ASTM D 256**

##### **Métodos de prueba para la determinación del péndulo Izod. Resistencia al impacto de los plásticos**

#### **Significado y Uso**

Antes de proceder con estos métodos de prueba, se debe hacer referencia a la especificación de los materiales a ser ensayados. Los parámetros de cualquier preparación de la muestra de prueba, el acondicionamiento, las dimensiones y las pruebas de cubierta en la especificación de los materiales tendrán prioridad sobre los mencionados en los métodos de prueba. Si no hay ninguna especificación del material, entonces las condiciones se aplican por defecto.

La prueba del péndulo indica la energía para romper los especímenes de prueba estándar de tamaño especificado en los parámetros establecidos de la pieza de montaje, entallado, y la velocidad del péndulo en el impacto.

- La energía perdida por el péndulo en la rotura de la muestra es la suma de los siguientes:
- Energía para iniciar la fractura de la muestra
- Energía para propagar la fractura a través de la muestra
- Energía para tirar el extremo libre (o terminal) de la muestra rota
- Energía para doblar la muestra
- Energía para producir vibraciones en el brazo del péndulo

- Energía para producir la vibración o el movimiento horizontal del bastidor de la máquina o de la base
- Energía para superar la fricción en el cojinete de péndulo y en el dispositivo indicador, y para superar la resistencia aerodinámica (péndulo del aire)
- La energía para deformar plásticamente la muestra en la línea de impacto
- Energía para superar la fricción causada por el roce del delantero (o cualquier otra parte del péndulo) sobre la superficie de la muestra.

De materiales relativamente frágiles, por lo que la propagación de la energía de fractura es pequeña en comparación con la energía de la iniciación de fractura, la energía del impacto se absorbe indicando, para todos los propósitos prácticos, la suma de los factores. La corrección de lanzamiento puede representar una fracción muy grande de la energía total absorbida en los ensayos de materiales relativamente densa y quebradiza. El Método de prueba C se utiliza para materiales que tienen una resistencia al impacto Izod de menos de 27 J / m (0.5 ft · lbf / pulg). El lanzamiento de la corrección obtenida en el Método de prueba C es sólo una aproximación del error de lanzamiento, ya que las velocidades de rotación y rectilínea no pueden ser las mismas durante el re-lanzamiento de la muestra como para tirar el original.

La energía de propagación de la fractura puede ser grande en comparación con la energía de la iniciación de fractura. Al probar estos materiales, los factores puede llegar a ser muy significativo, incluso cuando la muestra es maquinada y la máquina está en buenas condiciones, con la capacidad adecuada.

Aunque el marco y la base de la máquina debe ser lo suficientemente rígidos para manejar las energías de las muestras difíciles sin movimiento o vibración excesiva, el diseño debe garantizar que el centro de percusión este en el centro de la muestra. Localizar el delantero precisamente en el centro de percusión reduce las vibraciones del brazo del péndulo cuando se utiliza con muestras quebradizas. Sin embargo, algunas pérdidas debido a la vibración del brazo del péndulo, la cantidad que varía con el diseño del péndulo, va a ocurrir con muestras difíciles, incluso cuando el delantero está colocado adecuadamente. Las pérdidas de vibración pueden ser muy grandes cuando la variedad de las muestras de materiales duros se ponen a prueba en las máquinas de la masa suficiente, no bien sujeta a una base pesada.

Estos métodos de ensayo deben referirse a la determinación de la resistencia de los plásticos estandarizados de tipo pendular de martillos, montados en la máquina estándar, para romper las muestras estándar con una oscilación del péndulo. Las pruebas estándar para estos métodos de prueba requieren muestras hechas con una muesca molida. En los métodos de ensayo A, C y D, la muesca produce una concentración de tensión que aumenta la probabilidad de una fractura frágil, en lugar de una fractura dúctil. En el método de prueba, la resistencia al impacto se obtiene mediante la inversión de la muestra muescas 180 ° en la prensa de sujeción. Los resultados de todos los métodos de prueba se exponen en términos de energía absorbida por unidad de ancho de la muestra o por unidad de área de sección transversal en la muesca.

## ANEXO J. SUBPARTIDA ARANCELARIA EXPEDIDA POR EL DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICAS (DANE)



INFORMACION ESTADISTICA

Total Nacional

Enero 2010 a diciembre 2010

Subpartida Arancelaria	Descripción Arancelaria	Kilogramos		Pesos	Dólar	Pesos/Kg Bruto	Pesos/Kg Neto
		Brutos	Netos				
2902300000	Tolueno	5.306,20	\$ 3.393,82	46.610.135,00	24.649,08	8.784,09	13.733,83
2902440000	Xileno	3.633.907,41	\$ 3.633.367,05	5.335.713.777,00	2.933.327,38	1.468,31	1.468,53
2914110000	Acetona	1.251.558,92	\$ 1.149.748,53	3.364.532.181,00	1.773.228,00	2.688,27	2.926,32
2915310000	Acetato de etilo	3.659.676,89	\$ 3.607.597,29	8.232.351.948,00	4.339.217,55	2.249,48	2.281,95
2916141000	Metil metacrilato	4.594.324,33	\$ 4.363.511,67	18.085.354.062,00	9.587.501,11	3.936,46	4.144,68
2932110000	Tetrahidrofurano	871.698,31	\$ 779.215,27	51.082.262.671,00	272.078.589,00	58.600,85	65.556,03
3907301010	Resina poliéster	1.489.363,55	\$ 136.070.494,00	9.059.241.994,00	4.741.087,44	6.082,63	66,58
3903300000	Acrlonitrilo butadieno estireno	1.956.734,67	\$ 185.347.983,00	8.847.362.063,00	5.638.274,07	4.521,49	47,73
9613100000	Encendedores de gas de bolsillo no recargables	786.101,27	\$ 709.154,30	7.786.177.991,00	4.087.102,15	9.904,80	10.979,53
2909601000	Peróxido de metiletilcetona	115.871,43	\$ 10.693.726,00	673.743.006,00	92.745,17	5.814,57	63,00

Fuente: DIAN Cálculos: DANE

**DANE**  
Para tomar decisiones