

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Vicerrectoría de Investigación y Extensión

Informe Final  
Actividad de Fortalecimiento

Formulación de un material para fabricar en Costa Rica poliducto de riego a  
partir de materiales poliméricos post consumo generados en el desecho  
doméstico

Ing. Mary Luz Barrios Hernández  
Mae. Marysia Gómez Gallardo  
Escuela de Química

Enero – Diciembre 2012

## Tabla de contenido

Resumen .....	6
1 Introducción .....	7
1.1 Marco Teórico .....	8
1.1.1 Manejo de residuos sólidos en Costa Rica .....	8
1.1.2 Matrices poliméricas (Plásticos) .....	8
1.1.3 Proceso de Extrusión.....	10
1.2 Método de investigación y diseño experimental.....	10
1.3 Objetivos .....	10
2 Metodología .....	11
2.1 Diseño de la campaña de información.....	11
2.2 Proceso de adquisición de materia prima .....	11
2.3 Caracterización del poliducto de riego .....	12
2.4 Formulación de las nuevas muestras de estudio .....	16
3 Resultados .....	19
3.1 Campaña de concientización .....	19
3.2 Resultados de la caracterización del Poliducto.....	20
3.3 Resultados de las nuevas formulaciones.....	24
4 Discusión.....	29
4.1 Recuperación de materiales poliméricos .....	29
4.2 Caracterización del poliducto .....	29
4.3 Formulación de las nuevas mezclas.....	31
5 Conclusiones .....	35
6 Recomendaciones.....	36
7 Agradecimientos .....	37
8 Referencias.....	38
9 Anexos .....	39
9.1.1 Guía de Manejo de Residuos TEC-Ambientados-JASEC .....	39
9.1.2 Propiedades teóricas de resistencia y métodos de prueba asociados (ASTM) según plástico a evaluar 42	
9.1.3 Datos del análisis estadístico.....	43
9.1.4 Análisis de laboratorio de las muestras, POLIUNA.....	53

## Índice de figuras

Figura 1 Especificaciones técnicas del Poliducto para riego .....	7
Figura 2 Esquema de las estructuras químicas estudiadas .....	9
Figura 3 Recolección del material reciclable por parte del programas Ambientados-JASEC.....	11
Figura 4 Material triturado en el molino .....	12
Figura 5 Forma del poliducto de riego y su debida probeta.....	12
Figura 6 Prueba de elongación ASTM D638.....	13
Figura 7 Prueba de impacto al péndulo ASTM D256.....	13
Figura 8 Prueba de flexión ASTM D790 .....	13
Figura 9 Muestra de instalación de prueba de resistencia en elongación.....	14
Figura 10 Máquina y método de prueba de impacto IZOD .....	14
Figura 11 Muestra de instalación de ensayo de flexión por tensión en tres puntos. ....	15
Figura 12 Apariencia de las láminas extruidas.....	17
Figura 13 Guía de manejo de Residuos Sólidos Ordinarios.....	19
Figura 14 Gráfico de la determinación de la resistencia en Elongación del Poliducto .....	20
Figura 15 Gráfica del análisis de la resistencia en flexión al 5% de deformación.....	21
Figura 16 Gráfica de determinación de la temperatura de fusión para las muestras del poliducto (primera Corrida) .....	22
Figura 17 Gráfica de determinación de la temperatura de fusión para las muestras del poliducto (primera Corrida) .....	22
Figura 18 Gráfica de análisis termogravimetrico.....	23
Figura 19 Comparación del comportamiento de los diferentes tratamientos ante el análisis de resistencia en elongación.....	24
Figura 20 Test de normalidad de los cuatro tratamientos respecto a la resistencia en elongación .....	25
Figura 21 Apariencia de las diferentes formulaciones de las mezclas .....	31

## Índice de Cuadros

Cuadro 1 Cuadro ejemplo del diseño experimental para cada tratamiento .....	16
Cuadro 2 Formulación de las diferentes mezclas de plástico.....	17
Cuadro 3 Promedio de la resistencia en elongación de la muestra del poliducto en estudio .....	20
Cuadro 4 Determinación promedio de la resistencia en flexión al 5% de deformación .....	20
Cuadro 5 Resistencia al impacto de péndulo modo IZOD .....	21
Cuadro 6 Calorimetría diferencial de barrido (DSC).....	21
Cuadro 7 Análisis termogravimétrico (TGA) .....	23
Cuadro 8 Promedios de la resistencia en elongación de las muestras estudiadas .....	24
Cuadro 9 Procesamiento datos de resistencia en elongación de las muestras estudiadas .....	25
Cuadro 10 Distribución de las muestras acorde de la media de la variable resistencia en elongación ...	25
Cuadro 11 Determinación de la resistencia en flexión.....	26
Cuadro 12 Procesamiento datos de resistencia en elongación de las muestras estudiadas .....	26
Cuadro 13 Distribución de las muestras acorde de la media del módulo elástico de la variable resistencia a la flexión.....	26
Cuadro 14 Resistencia al impacto de péndulo modo IZOD .....	27
Cuadro 15 Procesamiento datos de resistencia al impacto de péndulo modo IZOD .....	27
Cuadro 16 Distribución de las muestras acorde a la media de la variable resistencia al impacto de péndulo modo IZOD .....	27
Cuadro 17 Resultados de la calorimetría diferencial de barrido (DSC) de las muestras .....	28
Cuadro 18 Resultados del análisis termogravimétrico (TGA) .....	28

**Formulación de un material para fabricar en Costa Rica  
poliducto de riego a partir de materiales poliméricos post  
consumo generados en el desecho doméstico.**

## **Autoras**

**Ing. Mary Luz Barrios Hernández**  
**Licenciada en Ingeniería Ambiental**  
**Carrera de Ingeniería Ambiental**  
**Escuela de Química**  
**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Marysia Gómez Gallardo.**  
**Máster en Administración Industrial.**  
**Coordinadora del proyecto**  
**Escuela de Química**  
**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

## Resumen

Se desarrolló la formulación de tres nuevas mezclas, a partir de materiales poliméricos post consumo, generados en el desecho doméstico, con el fin de fabricar localmente un poliducto de riego de material reciclado. Para ello se procedió a recuperar material polimérico post-consumo con ayuda de diferentes actores de programas de recuperación de desechos, específicamente polietilenos y polipropilenos. Este plástico, para su correspondiente uso como materia prima, requirió de procesos como recolección, manipulación, limpieza, clasificación y molienda. Luego se procedió a determinar propiedades mecánicas como la resistencia en elongación, flexión e impacto al péndulo y propiedades térmicas como DSC y TGA del poliducto en estudio. Con ello se procedió a desarrollar nuevas formulaciones, a partir del reproceso de materiales laminados homogéneos y heterogéneos en diferentes proporciones, por extrusión. Un primer espécimen fue completamente de PEBD, otra muestra fue una mezcla común de Polietilenos de baja y alta densidad en proporciones variadas y una última mezcla de polietilenos, polipropilenos y aditivos que permitieron la amalgama de materiales de diferentes características químicas. Se utilizó la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov, ya que los datos no contaban con distribución normal, con un nivel de significancia del 5 % para un número de diez repeticiones por tratamiento. Se obtuvo como mejor formulación para semejar o mejorar las características mecánicas y térmicas del poliducto importado la mezcla de diferentes productos de PEBD post-consumo con 95 % de confianza, superando propiedades de resistencia en elongación y resistencia en flexión; y necesitando la optimización de las características para resistencia al impacto modo IZOD, todo gracias a la efectiva recuperación e incorporación de materiales poliméricos post consumo generados en el desecho doméstico.

**Palabras clave: Polietileno de alta densidad (PEAD) post consumo, Polietileno de baja densidad (PEBD) post consumo, polipropileno (PP) post consumo, poliducto, mezclas poliméricas.**

# 1 Introducción

En Costa Rica, muchos programas exitosos en el tratamiento de desechos sólidos han generado experiencia tanto en su recolección como en su debida separación, un ejemplo de ello es el Centro de Tecnología y Transferencia de materiales (CTTM), servicio administrado por varios departamentos del Tecnológico de Costa Rica (TEC) para el país y de la actividad permanente del Manejo de Desechos Institucionales (MADI), programa operado dentro de las instalaciones del TEC. De ellos se pudo obtener información importante como que un gran porcentaje de este material es botella plástica, abundante y de poca demanda en el mercado del reciclaje.

En la búsqueda de nuevas opciones para el tratamiento de plásticos post-consumo, se dio a conocer la situación particular presentada por ICEC S.A; una de las empresas distribuidoras de poliducto para riego en Costa Rica, quien buscaba por medio de su dueño alternativas tecnológicas actuales, en los poliductos para riego fabricados actualmente con polietileno, en sus diferentes presentaciones (Figura 1), siendo este el mismo material que se recolecta en las presentaciones de botellas plásticas pos-consumo.

Figura 1 Especificaciones técnicas del Poliducto para riego

**Manguera de Polietileno y accesorios :**  
**Poliducto para uso agrícola.**

◀ Regresar

Código	Unid. Medida	Descripción
72-125	RLL	POLIDUCTO AGRICOLA 12.5MM 91.50MTS.
72-190	RLL	POLIDUCTO AGRICOLA 19.0MM 91.50MTS.
72-250	RLL	POLIDUCTO AGRICOLA 25.0MM 91.50MTS.
72-310	RLL	POLIDUCTO AGRICOLA 31.0MM 45.75MTS.
72-375	RLL	POLIDUCTO AGRICOLA 37.5MM 45.75MTS.
72-500	RLL	POLIDUCTO AGRICOLA 50.0MM 45.75MTS.

**ESPECIFICACIONES:**  
**Color :**  
Negro.  
**Construcción :**  
Una capa.  
**Usos y Aplicaciones :**  
Para riego agrícola.  
**Presentaciones :**  
Rollo de 45,75mts (150') y 91,50mts (300') según el diámetro. (Ver tabla técnica).  
Ver tabla técnica

Fuente: <http://www.plasticossirena.com/2013>

## **1.1 Marco Teórico**

### **1.1.1 Manejo de residuos sólidos en Costa Rica**

En Costa Rica, uno de los problemas ambientales más serios es la gestión ineficiente e inadecuada de los residuos en general. Según el Estado de la Nación 2011, considerando que el censo de población y vivienda del 2011 (INEC) arroja un total de 4 301 712 habitantes, se puede estimar en unas 2700 toneladas diarias de basura provenientes de los hogares costarricenses, de estos los desechos plásticos representan un 9% del peso total de la basura doméstica (Soto, 2011). Por lo que un total de 243 toneladas son desechos de plásticos en general.

Existen más de 199 registros de empresas dedicadas al reciclaje de distintos materiales. Sin embargo todavía hay espacio para incrementar el porcentaje de materiales reciclados, disminuyendo así la cantidad de materiales que son enviados al relleno sanitario. Pero solo aplica a habitantes que son vecinos (Soto, 2011). Según la Base de Datos de Residuos Reciclables de Costa Rica (REDCICLA, 2012), consta de los siguientes directorios:

- Centros Comunitarios de Recuperación de Materiales Reciclables (47 registros)
- Empresas Recuperadoras de Materiales Reciclables (100 registros)
- Industrias Recicladoras de Materiales (52 registros)
- Empresas e Instituciones con Servicios y Compromiso Ambiental (en construcción)
- Programas Municipales de Recuperación de Residuos Reciclables (en construcción)

Dentro de los desechos plásticos más comunes que pueden ser recolectados y reciclados son el polietilentereftalato, polietileno de alta densidad, policloruro vinílico, polietileno de baja densidad, polipropileno, poliestireno, entre otros (Osswald, 2011). Razón por la cual en el presente estudio, se investigó y profundizó específicamente en tres tipos de matrices poliméricas que forman parte del grupo de las poliolefinas, el polietileno de alta densidad (PEAD), el Polietileno de baja densidad (PEBD) y el Polipropileno (PP), por lo que será necesario conocer algunas generalidades de estos polímeros y algunas investigaciones ya realizadas de mezclas entre ellos.

### **1.1.2 Matrices poliméricas (Plásticos)**

Un polímero es una molécula que consta de muchas (poli -) partes (- mer) unidos entre sí por enlaces químicos covalentes. Las partes individuales, o segmentos de monómero, de un polímero pueden ser todas del mismo elemento. Si las partes de un polímero son diferentes, se denomina un copolímero (Kulshreshtha, A.K.; Vasile, C. 2002). Los polímeros en la agricultura se utilizan en invernaderos, macrotúneles, microtúneles, acolchados, mallas, en el control de plagas (plásticos fotoselectivos), en el control de enfermedades como la solarización, en riego, entre otros (Infoagro, 2012). Los agricultores obtienen importantes rendimientos gracias al aporte de estos materiales poliméricos, incluyendo el producto en estudio que es un poliducto de riego.

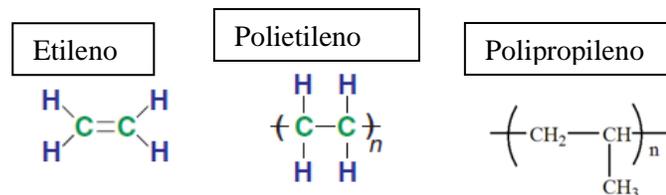
#### **1.1.2.1 Polietilenos y Polipropileno**

Según su clasificación química están dentro de la familia de las poliolefinas. El polietileno y el polipropileno, son conocidos como los dos primeros miembros de la cadena de los polímeros basados

en la estructuras del etileno. Son semejantes en apariencia, sin embargo las diferencias radican en las propiedades físicas y termoestables (Haper, 1975). Algunas propiedades teóricas de los polímeros estudiados de resumen en el anexo 3.

El polietileno es un polímero formado a partir de etileno ( $C_2H_4$ ), que es un gas que tiene un peso molecular de 28 g/mol. La fórmula química genérica para el polietileno es  $(C_2H)_n$ , donde n es el grado de polimerización (Kulshreshtha, A.K.; Vasile, C. 2002). El polipropileno es químicamente similar al polietileno, sin embargo su punto de fusión es más alto (173 °C) y su densidad más baja (Haper, 1975). Un esquema de las estructuras químicas para el etileno, el polietileno y el polipropileno se muestra en la figura 1.

**Figura 2 Esquema de las estructuras químicas estudiadas**



Fuente: Kulshreshtha, A.K.; Vasile, C. 2002.

### 1.1.2.2 Mezclas de polímeros

Las mezclas de polímeros son mezclas de al menos dos especies macromoleculares, polímeros y/o copolímeros, el nombre es dado cuando el menor componente excede el 2% de peso. Dependiendo del signo de la energía libre de la mezcla pueden catalogarse como miscible o inmiscibles. La mezcla de polímeros usualmente resulta en un sistema inmiscible, dependiendo del grosor, la facilidad de alterar la morfología y la pobre adhesión entre las fases. En particular, la resistencia al impacto, la resistencia en elongación y en flexión son afectadas, la estructura de las mezclas son inestables y hasta irreproducibles (Parma, H. J. 2011).

Diferentes mezclas de polietilenos han sido estudiadas, incluyendo PEAD, PEBD y PP (Kulshreshtha, A.K.; Vasile, C. 2002).

- En la mezcla PEAD/PEBD, el PEAD facilita la cristalización de ramificaciones largas en el PEBD. Además tiene mejoras en la resistencia en elongación, en el impacto al péndulo y pequeños cambios en la elasticidad.
- La mezcla de PEBD/PEAD, procesada en presencia de peróxido de dicumilo (DCP) tiene mejores propiedades mecánicas; y al agregar pequeñas cantidades de PP se puede modificar la viscosidad de esta mezcla.
- La mezcla de PE<sup>1</sup>/PP es altamente incompatible exhibiendo un comportamiento UCST<sup>2</sup>.
- Al mezclar PEBD/PP, se obtienen cambios mecánicos como mejoras en la resistencia al impacto.

Se ha demostrado además, que las mezclas de diferentes tipos de PE mejoran las propiedades mecánicas y de procesabilidad del material (Utracki, 2002)

<sup>1</sup> PE: Polietileno lineal

<sup>2</sup> Alta temperatura de solución crítica (UCST; Por sus siglas en inglés: Upper critical solution temperature)

### 1.1.3 Proceso de Extrusión

El reproceso de las nuevas formulaciones se realizó en esta investigación por medio de la técnica de extrusión, que es un proceso tecnológico continuo de producción de artículos de la forma requerida forzando un fundido de material polimérico a través de un orificio o instrumento moldeador que le da el perfil, y su enfriamiento posterior (Osswald, 2011). La extrusora de un solo tornillo o el extrusor de doble tornillo se utiliza para la preparación de estas mezclas que se caracterizan por la morfología y las propiedades mecánicas y reológicas (Kulshreshtha, A.K.; Vasile, C. 2002). La descripción técnica de los polímeros usados en extrusión consta de más de veinte parámetros. De éstos, para comenzar se necesitan al menos tres parámetros de procesamiento importantes: temperatura de fusión ( $T_m$ ), densidad y distribución de pesos moleculares. Estas propiedades, entre otras, definirán las condiciones del procesamiento del plástico, las propiedades mecánicas y las propiedades de resistencia química del producto final. A mayor densidad (i.e mayor peso molecular característico), mejoran propiedades de resistencia de tensión, resistencia a la deformación, impermeabilidad, resistencia a la abrasión, contracción en el moldeo y dureza (Rubin, I. 2002).

## 1.2 Método de investigación y diseño experimental

Para examinar las diferencias entre las muestras a nivel estadístico, se utilizó la experimentación científica, también conocida como pruebas o ensayos experimentales, lo cual indica que se pueden reproducir condiciones bajo las cuales se puede tomar decisiones. Se puede asumir que el estadístico calculado se comporta siguiendo una determinada distribución muestral teórica, es decir una distribución de frecuencias de todos los posibles valores del estadístico de prueba calculado con un tamaño de muestra igual a la del experimento que se está evaluando (Sheskin, 2000). Sin embargo cuando los datos no se ajustan a una distribución normal, se utilizan pruebas no paramétricas, las cuales no requieren asumir normalidad de la población y que en su mayoría se basan en el ordenamiento de los datos.

Se aplica la siguiente hipótesis nula ( $H_0$ ) y alternativa ( $H_a$ ) para datos con comportamiento normal:

$H_0$ : *No existen diferencias significativas entre medias de tratamientos*

$H_a$ : *Al menos un par de medias es diferente*

Se aplica la siguiente hipótesis nula ( $H_0$ ) e hipótesis alternativa ( $H_a$ ) para análisis no paramétricos:

$H_0$ :  $Med_1 = Med_2$

$H_a$ :  $Med_1 \neq Med_2$

## 1.3 Objetivos

El objetivo principal alcanzado en esta actividad de fortalecimiento fue el desarrollar una formulación de un material a partir de materiales poliméricos post consumo, generados en el desecho doméstico, para la fabricación local de un poliducto de riego con material reciclado.

Los objetivos específicos alcanzados fueron:

1. Recuperados los materiales poliméricos post consumo generados en el desecho doméstico, que puedan ser incorporados efectivamente en procesos de reciclaje.
2. Caracterizar el material usado en el poliducto importado a fin de usarlo como referencia.
3. Desarrollar una formulación a partir de materiales poliméricos post consumo, para semejar o mejorar las características del material del poliducto importado.

## 2 Metodología

Este proyecto resume cuatro actividades claves, el diseño de la campaña de información tanto para el personal de “Ambientados” como para el público en general, la adquisición de materia prima, la caracterización del poliducto para riego agrícola, y la formulación de tres nuevas muestras de estudio.

### 2.1 Diseño de la campaña de información

Se trabajó con personeros del programa Ambientados-JASEC; brindando colaboración en la supervisión de la campaña. Se realizaron dos reuniones una de coordinación y otra de capacitación al personal involucrado en la campaña “Ambientados”. Por último se confeccionó una guía de residuos sólidos y se distribuyeron un total de 400 ejemplares a la población cartaginesa.

### 2.2 Proceso de adquisición de materia prima

Se procedió a recuperar el material polimérico post-consumo con ayuda de diferentes actores de programas de recuperación de residuos, específicamente polietilenos y polipropilenos. Este plástico, para su correspondiente uso como materia prima, requirió de procesos como recolección, clasificación, manipulación y limpieza, y molienda.

#### 2.2.1.1 *Recolección:*

La materia prima fue obtenida por medio de los programas Ambientados-JASEC, quien recolecta material para reciclar mediante campañas en la zona de Cartago centro, y el CTTM-TEC quien le recibe material a JASEC y a otros actores de la región. El material para reciclar se recolecta en pacas (ver guía de recolección de desechos de JASEC en el anexo 1), sin clasificar y muchas veces sucio (Figura 3). Las pacas se cargan de forma inmediata al camión de CTTM para ser transportado a las instalaciones en la zona franca de Cartago.

**Figura 3** Recolección del material reciclable por parte del programas Ambientados-JASEC



a) Recolección de residuos sólidos ordinarios

b) Recolección de residuos electrónicos

Fuente: MLBH, 2012

#### 2.2.1.2 *Manipulación y limpieza*

El material se descarga en el almacén del CTTM y se clasifica en papel, plástico, vidrio y aluminio. Una vez que el material ha sido separado de los desechos no plásticos, se procede a la clasificación

según el tipo. El proceso de selección de material y limpieza conllevó la remoción de etiquetas, la selección solamente de botellas limpias sin residuos de materia orgánica, ni químicos y su posterior almacenamiento para el proceso de molienda.

### **2.2.1.3 Molienda**

El proceso de molienda se dio en un molino marca Siemens de 10 Hp, de fuerza, con una boca aproximada de 15 cm por 20 cm, donde se trituran los materiales (Figura 4) para disminuirles el tamaño y hacer más fácil el proceso de extrusión.

**Figura 4 Material triturado en el molino**



Fuente: PRODUCOL S.A, 2012

## **2.3 Caracterización del poliducto de riego**

El producto caracterizado fue cortesía de la empresa ICEC S.A., quien brindó tres rollos de poliducto de diferentes presentaciones para su correspondiente análisis. Esta empresa es una de las distribuidoras del poliducto para riego en Costa Rica.

### **2.3.1.1 Confeción de probetas**

Al poliducto original se le realizaron cortes y tratamientos a presión para obtener las formas requeridas, siguiendo las especificaciones aportadas por el laboratorio para las pruebas de calorimetría diferencial de barrido - DSC (ASTM D-3417), análisis termo gravimétrico (TGA), análisis de resistencia en elongación (ASTM D-638M y D882), análisis de tensión en flexión (ASTM D-790) e impacto al péndulo IZOD (ASTM D-256).

Se ensayaron 10 probetas para cada uno de los cinco análisis del plástico en estudio (Figura 5), con ese fin se obtuvieron resultados estadísticos representativos para utilizarlos como valores referenciales de control. Las probetas para el laboratorio debieron tener una superficie plana y se debió tener un grosor uniforme en cada muestra.

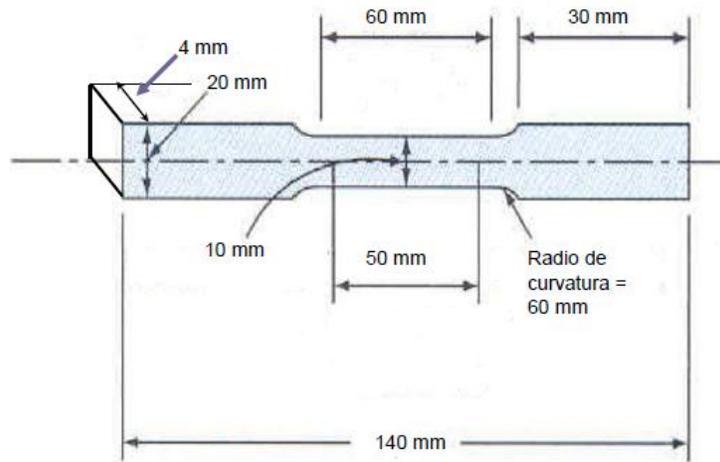
**Figura 5 Forma del poliducto de riego y su debida probeta**



Fuente: MLBH, 2012

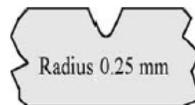
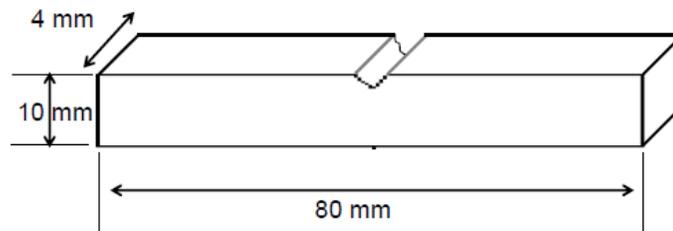
Las dimensiones de las probetas, a excepción de los análisis térmicos, obedecieron las siguientes dimensiones:

Figura 6 Prueba de elongación ASTM D638



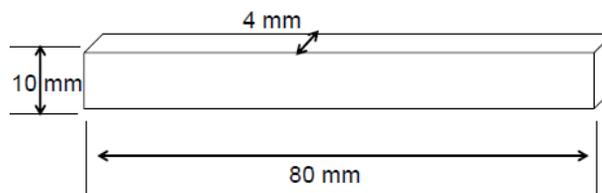
Fuente: POLIUNA, 2012

Figura 7 Prueba de impacto al péndulo ASTM D256



Fuente: POLIUNA, 2012

Figura 8 Prueba de flexión ASTM D790



Fuente: POLIUNA, 2012

### 2.3.1.2 Pruebas de laboratorio y equipos

Después de identificar los estándares internacionales para caracterización de polímeros y de realizar la lista de equipos requeridos y su ubicación en Costa Rica, se decidió que los análisis fueran realizados en el Laboratorio Nacional de Polímeros de la Universidad Nacional (POLIUNA) en Heredia. Para dichos análisis se ensayaron las cinco pruebas mecánicas y térmicas ya mencionadas. A continuación se describe cada análisis según datos del laboratorio:

#### 2.3.1.2.1 Análisis de resistencia en elongación (ASTM D-638M y D882)

Se probaron alrededor de 10 especímenes del tipo IV de acuerdo a la norma. Para esta prueba se siguió el procedimiento ASTM D-638M y D-882. Las probetas se acondicionaron a  $23 \pm 2$  °C y  $50 \pm 5$  % de humedad relativa durante 48 horas previas al análisis. En este informe se reportan los promedios de los valores obtenidos. El aparato utilizado fue un analizador mecánico universal INSTRON 3365, con una celda de 5 kN. Se empleó una velocidad de aplicación del esfuerzo de 5 mm por minuto. La apertura inicial entre las prensas de la maquina fue de 100mm (Ver Figura 9).

**Figura 9** Muestra de instalación de prueba de resistencia en elongación

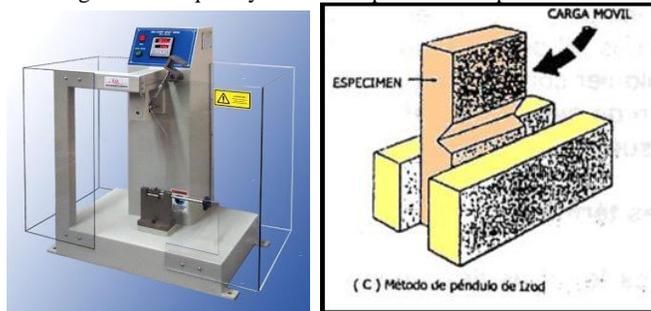


Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/propiedades-mecanicas.html>

#### 2.3.1.2.2 Resistencia al Impacto al péndulo IZOD

La prueba se llevó a cabo siguiendo el procedimiento ASTM D-256, método A, correspondiente al ensayo IZOD. Se utilizó un analizador de péndulo de la marca CSI modelo CSI-137 (Figura 10). A las muestras en forma de vigueta (72 x 12) mm, con una muesca según las indicaciones el método. Se acondicionaron por 48 horas a 23°C y 50% de humedad previo al análisis. Se analizaron 10 especímenes cada muestra y se determinó el promedio de resistencia al impacto tanto en J/m (normalizado por grosos) con en  $\text{kJ/m}^2$  (normalizado por grosos y hondura de la muesca). Se utilizó un péndulo con una capacidad 2,7 J y una longitud de 42 cm (POLIUNA, 2012).

**Figura 10** Máquina y método de prueba de impacto IZOD

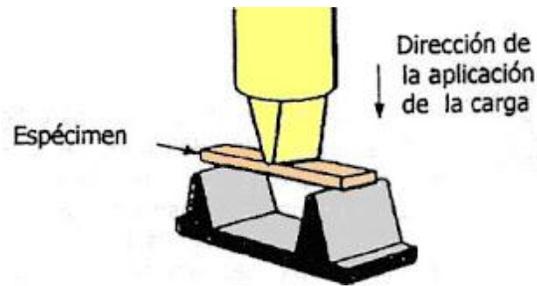


Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/propiedades-mecanicas.html>

#### 2.3.1.2.3 Análisis de tensión en flexión (ASTM D-790),

Se siguió el método ASTM D-790. Se probaron alrededor de 10 especímenes de perfil rectangular con dimensiones promedio (en mm) de 80x12x4. Las probetas se acondicionaron a  $23 \pm 2$  °C y  $50 \pm 5$  % de humedad relativa durante 48 horas previas al análisis. En este informe se reportan los promedios de los valores obtenidos. El aparato utilizado fue un analizador mecánico universal INSTRON 3365, con una celda de 5 kN (Figura 11). Se empleó una configuración de flexión en tres puntos, con una distancia de soportes de 50 mm y una velocidad de aplicación del esfuerzo en el punto medio de la probeta de 1,3 mm por minuto (POLIUNA, 2012).

Figura 11 Muestra de instalación de ensayo de flexión por tensión en tres puntos.



Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/propiedades-mecanicas.html>

#### 2.3.1.2.4 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Se utilizó un aparato DSC 7 de Perkin Elmer, siguiendo el método 3417. La muestra se obtuvo directamente del material suministrado al laboratorio, y ésta se colocó en una cápsula de aluminio sellada. Se utilizó un ámbito de temperatura de análisis de 50 – 140 °C, en atmósfera de nitrógeno con un flujo de 20 mL por minuto y un programa de temperatura de 10 °C por minuto. Se hizo una primera corrida, luego el material se enfrió y se subsecuentemente se hizo una segunda corrida, ambas con el mismo rango de temperatura y misma velocidad de calentamiento (POLIUNA, 2012). Se reportaron los resultados mediante curvas de flujo de calor versus temperatura.

#### 2.3.1.2.5 Análisis termogravimétrico (TGA)

Para esta prueba se utilizó un analizador termogravimétrico de la marca TA Instrument, modelo Q500, con una rampa de calentamiento de 20 °C/min desde 50 hasta los 600 °C y bajo un flujo de nitrógeno en la balanza de 40 mL/min y de 60 mL/min en la muestra. Se obtuvieron gráficas de pérdida de peso y de variación del peso (primera derivada) versus porcentaje de residuo presente en cada muestra (POLIUNA, 2012).

## 2.4 Formulación de las nuevas muestras de estudio

### 2.4.1.1 Diseño experimental

Se planteó el diseño experimental para cada análisis (Cuadro 1): resistencia en elongación, resistencia en flexión, resistencia al impacto del péndulo donde a los cuatro tratamientos (variable independientes) se les aplicó aleatoriamente los análisis seleccionados y finalmente, se midió la respuesta del material experimental al tratamiento (variable dependiente).

Cuadro 1 Cuadro ejemplo del diseño experimental para cada tratamiento

Tratamiento	Material experimental	Respuesta (Resistencia en elongación)	Grupo	Estadística (media, varianza, etc.)
1		Módulo elástico (1,1)	1	$Y_1$ $S^2_1$
		Módulo elástico (1,2)	1	
		Módulo elástico (1, n...)	1	
2		Módulo elástico (2,1)	2	$Y_2$ $S^2_2$
		Módulo elástico (2,2)	2	
		Módulo elástico 2, n...)	2	
3		Módulo elástico (3,1)	3	$Y_3$ $S^2_3$
		Módulo elástico (3,2)	3	
		Módulo elástico (3, n...)	3	
4		Módulo elástico (4,1)	4	$Y_4$ $S^2_4$
		Módulo elástico (4,2)	4	
		Módulo elástico (4, n...)	4	

Luego se realizan las pruebas correspondientes al análisis de los datos.

### 2.4.1.2 Condiciones de preparación de las muestras.

La producción de muestras se llevó a cabo en la empresa PRODUCOL S.A, ubicada en Pavas, San José, Costa Rica. La empresa es fabricante de “madera plástica” a partir de material plástico para reciclar.

Para producir una lámina, se necesitaron aproximadamente 50 kg de plástico. Este plástico fue sometido al proceso de molienda anteriormente mencionado, a aproximadamente 5 mm de diámetro en un molino de las instalaciones del CTTM. Se seleccionaron dos sacas llenas de aproximadamente 50 kilogramos cada una de material diferente: una saca de polipropileno industrial de color blanco y otra saca de botellas con el signo de polietileno de alta densidad. El polietileno de baja densidad fue aportado por la empresa PRODUCOL S.A. de diferentes tipos de bolsas plásticas, lugar donde se transportó y realizó posteriormente el proceso de extrusión en láminas.

Se confeccionaron tres láminas, cada una con una con composiciones diferentes, semejantes a la figura 12. Los porcentajes de las mezclas escogidas son las siguientes:

**Cuadro 2 Formulación de las diferentes mezclas de plástico.**

Número de Muestra	Nombre de la mezcla	PEAD %	PEBD %	PP %	Aditivo
1	PEBD POST-CONSUMO	-	100	-	-
2	PEAD-PEBD	75	25	-	-
3	PEAD-PP	75	-	25	Si

Fuente: PRODUCOL S.A

### 2.4.1.3 Proceso de extrusión:

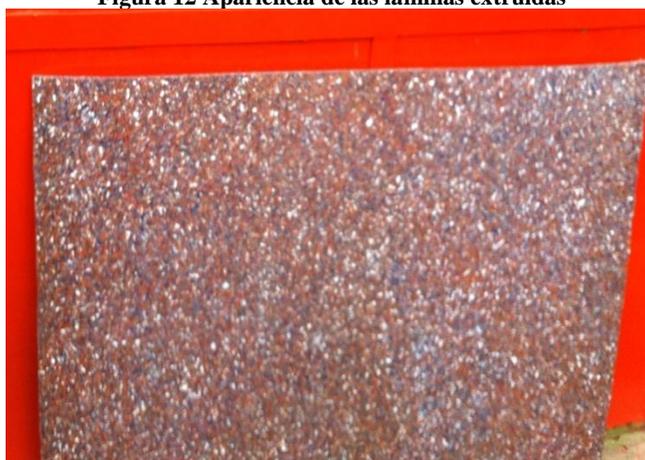
Con el material una vez molido, se realizó un precalentamiento y mezclado para llevarlo a la extrusora, en donde se dosificó de acuerdo al tipo de mezcla a procesar. En este moldeo por extrusión se utilizó un transportador de tornillo helicoidal. Las mezclas de polímeros fueron transportadas desde la tolva, a través de la cámara de calentamiento, hasta la boquilla del molde.

Las muestras de plásticos reciclados se adicionaron a la tolva, en donde el material dosificado pasó al husillo, que giró concéntricamente en un cilindro a temperaturas controladas, allí fue fundido, arrastrado por medio de presión y finalmente fue forzado a pasar a través de un dado también llamado boquilla, y se obtuvo el perfil geométrico preestablecido. Para los ensayos realizados se fabricaron láminas, con el fin de facilitar la confección de las probetas y sus respectivos análisis. En el caso de las mezclas, se calentó los dos polímeros juntos hasta llegar por encima de las temperaturas de transición vítrea de ambos. En este punto se encontraron fundidos y viscosos y se logró mezclarlos como si estuviera haciendo una torta.

#### 2.4.1.3.1 Confección de probetas y análisis de laboratorio

La confección de las probetas, los equipos utilizados y sus respectivos análisis se realizaron para las tres muestras, bajo los mismos estándares que en el punto de caracterización del poliducto, e igualmente en el laboratorio de POLIUNA. Todos los datos fueron reportados por medio de gráficas y tablas en el apartado de resultados.

**Figura 12 Apariencia de las láminas extruidas**



Fuente: MLBH, 2012

#### ***2.4.1.4 Diseño de procesamiento y análisis de datos***

Se realizaron análisis inferenciales paramétricos, con los test de homogeneidad de varianzas, según las estadísticas de Levene, Análisis de Varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés) y comparación múltiple entre tratamientos con las pruebas de Tukey HSD, Scheffe y Duncan para cada análisis.

Se utilizó la opción de Kolmogorov-Smirnov en la prueba no paramétrica con un nivel de significancia del 5 % para dos muestras independientes, que se utilizó para determinar la bondad de ajuste de dos distribuciones de probabilidad entre sí, comparando las medianas entre cada tratamiento.

Los resultados fueron procesados por medio de tablas y gráficos. Para los análisis se utilizó el software estadístico *SPSS Statistics 21.0 (2012)*.

### 3 Resultados

#### 3.1 Campaña de concientización

El principal producto obtenido de la relación Ambientados –JASEC y esta actividad fue la distribución de 400 ejemplares de la guía de manejo de Residuos Sólidos Ordinarios (Figura 13), diseñada a partir de las necesidades obtenidas de la presente investigación (Ver guía completa en anexo 1).

Figura 13 Guía de manejo de Residuos Sólidos Ordinarios



Fuente: Elaboración propia MLBH, 2012

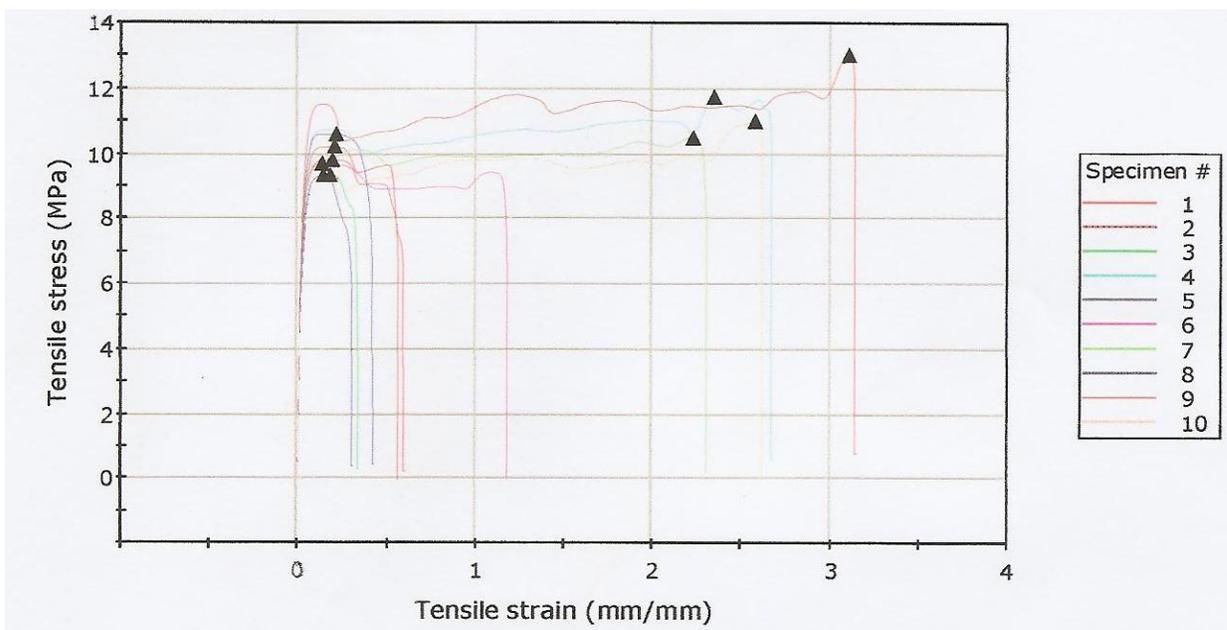
### 3.2 Resultados de la caracterización del Poliducto

El poliducto se caracterizó por ser un ducto plástico de color negro, fabricado con materias primas vírgenes y recicladas a base de polietileno de baja y alta densidad. Entre las propiedades mecánicas analizadas se encuentran el análisis de la resistencia en elongación del poliducto mostrando los siguientes datos promedio de la Cuadro 2, obtenidos según la figura 14:

**Cuadro 3 Promedio de la resistencia en elongación de la muestra del poliducto en estudio**

MUESTRA	Módulo elástico (MPa)	Resistencia máxima (MPa)	Deformación a la ruptura (%)
POLIDUCTO	237 ± 46	10,5 ± 1,2	142 ± 114

Fuente: POLIUNA 2012



**Figura 14 Gráfico de la determinación de la resistencia en Elongación del Poliducto**

Fuente: POLIUNA 2012

El análisis de la resistencia en flexión del poliducto mostró los siguientes datos promedio (Cuadro 3), según los análisis aportados por la figura 15.

**Cuadro 4 Determinación promedio de la resistencia en flexión al 5% de deformación**

MUESTRA	Módulo elástico (MPa)	Tensión en flexión al 5% de deformación (MPa)
POLIDUCTO	229 ± 28	8,3 ± 0,8

Fuente: POLIUNA 2012

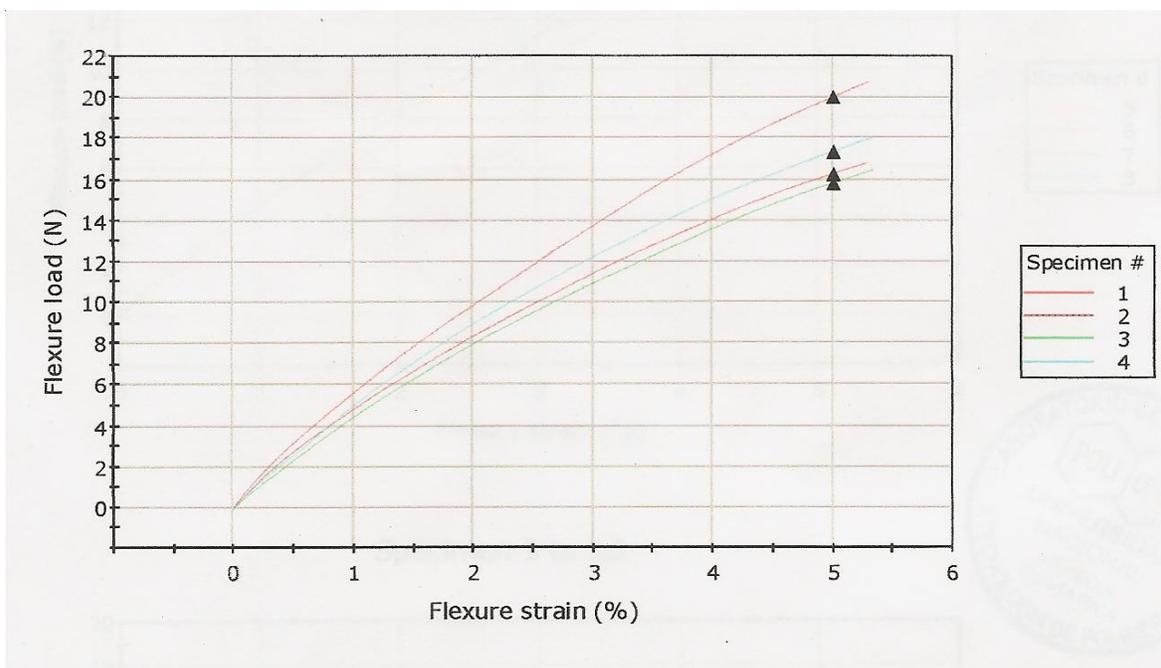


Figura 15 Gráfica del análisis de la resistencia en flexión al 5% de deformación

El análisis de la resistencia al impacto de péndulo modo IZOD del poliducto mostró el siguiente dato promedio (Cuadro 4):

Cuadro 5 Resistencia al impacto de péndulo modo IZOD

MUESTRA	Grosor promedio (mm)	Resistencia al impacto (J/m)	Tipo de fractura
POLIDUCTO	$3,71 \pm 0,32$	$258 \pm 40$	NB: No hay rompimiento en 100% de los especímenes

Fuente: POLIUNA 2012

Los análisis térmicos, mostraron resultados significativos a partir de las gráficas de los análisis DSC y TGA. De la gráfica de diferencias entre flujos versus temperatura se obtuvo la temperatura de fusión del poliducto para dos corridas (Figura 16 y 17). En resumen se obtuvieron las siguientes temperaturas de fusión y sus respectivos calores de fusión para las dos corridas diferentes (Cuadro 6)

Cuadro 6 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

MUESTRA	Temperatura de fusión ( $^{\circ}\text{C} \pm 0,001$ )	Calor de fusión ( $\text{J/g} \pm 0,001$ )
POLIDUCTO (Primera Corrida)	124,880	75,289
POLIDUCTO (Segunda Corrida)	110,271	18,070
	124,089	11,811

Fuente: POLIUNA 2012

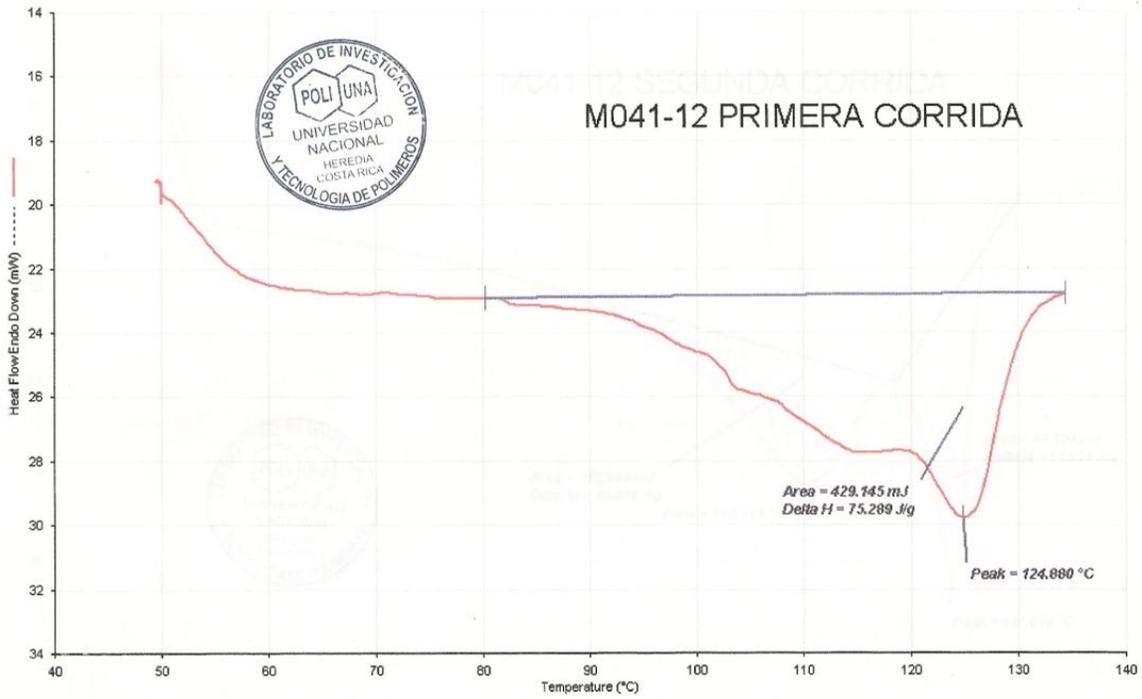


Figura 16 Gráfica de determinación de la temperatura de fusión para las muestras del poliducto (primera Corrida)  
Fuente: POLIUNA

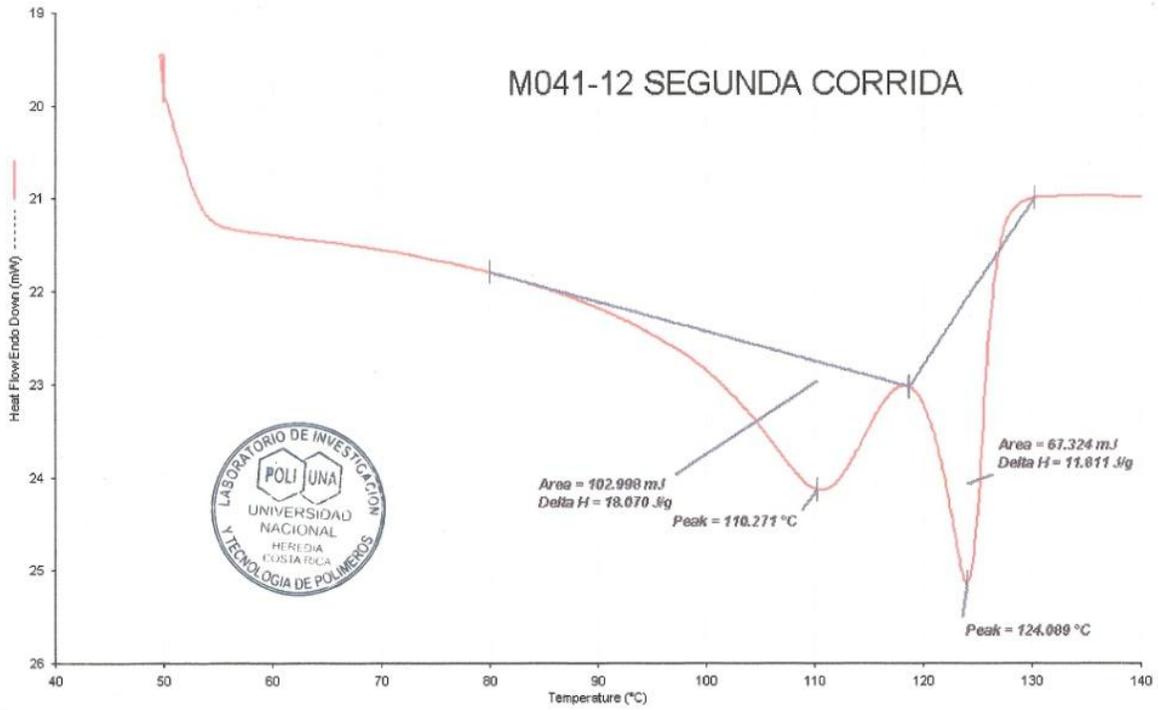


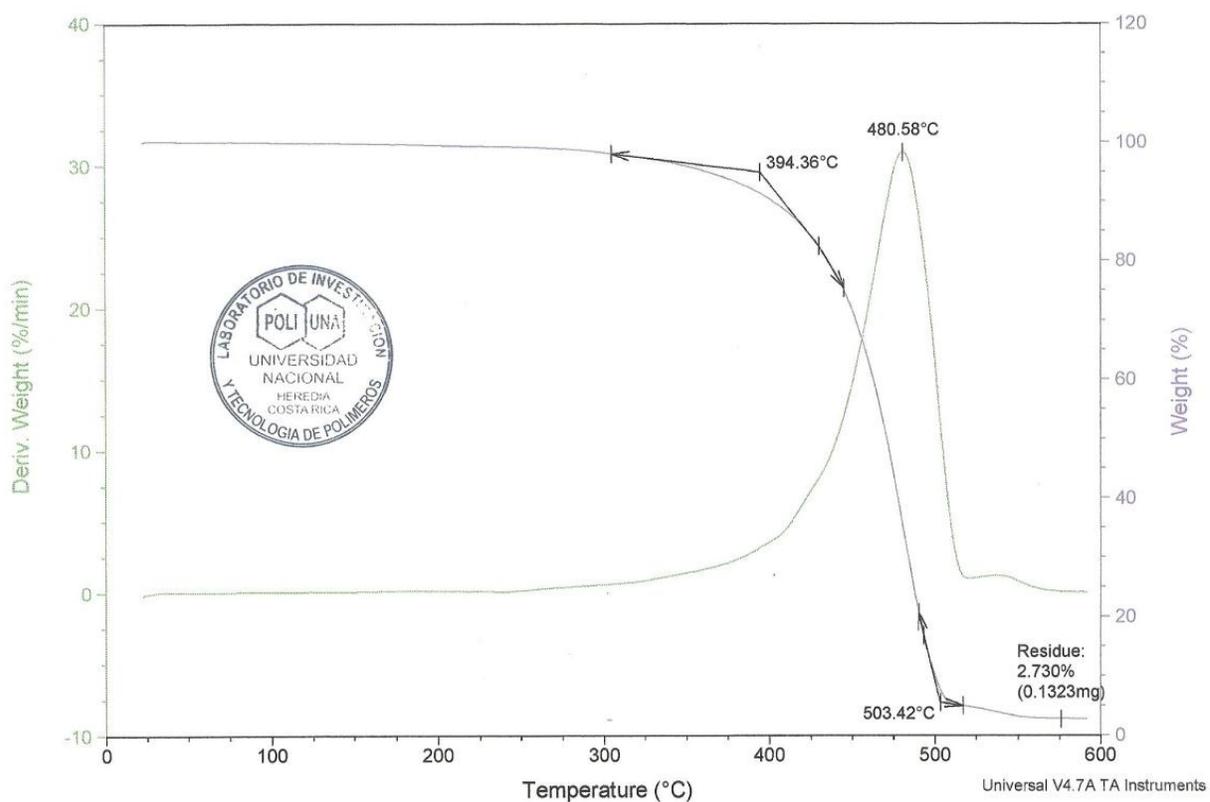
Figura 17 Gráfica de determinación de la temperatura de fusión para las muestras del poliducto (primera Corrida)  
Fuente: POLIUNA

Del análisis termogravimétrico resultó la gráfica de la Figura 18. El resumen de las temperaturas obtenidas y el porcentaje de residuo se pueden observar el Cuadro 7.

**Cuadro 7 Análisis termogravimétrico (TGA)**

MUESTRA	Temp. Inicial (°C ± 0,01)	Temp. Final (°C ± 0,01)	Cambio de Temp. (°C ± 0,01)	Residuo (% ± 0,001)
POLIDUCTO	394,36	503,42	109,06	2,730

Fuente: POLIUNA 2012



**Figura 18 Gráfica de análisis termogravimétrico**  
Fuente: POLIUNA

### 3.3 Resultados de las nuevas formulaciones

#### 3.3.1.1 Análisis propiedades mecánicas

Se estudiaron las mismas propiedades mecánicas del poliducto en las tres mezclas, obteniendo diferentes respuestas. Las respuestas obtenidas bajo el análisis de resistencia en elongación de las tres mezclas tomando como base de referencia el poliducto. En la Figura 19, se compara el resultado obtenido para los cuatro tratamientos.

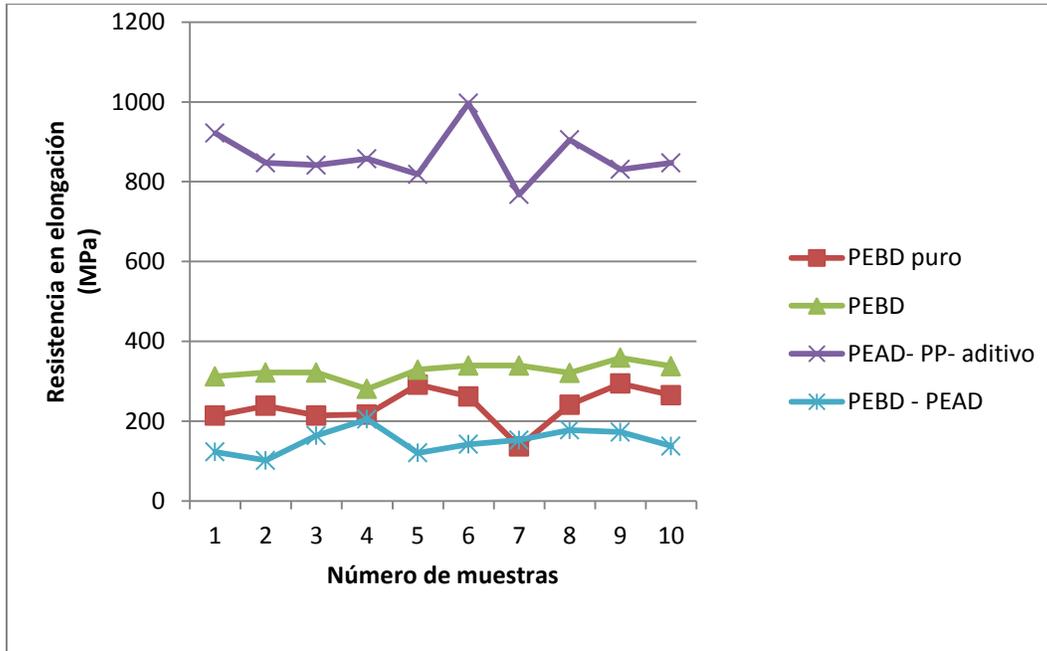


Figura 19 Comparación del comportamiento de los diferentes tratamientos ante el análisis de resistencia en elongación

Los datos fueron procesados según el diseño experimental propuesto para este proyecto. Para el análisis paramétrico de los cuatro tratamientos, para la prueba de elongación se probó la normalidad acorde al test de normalidad Kolmogorov-Smirnova y Shapiro-Wilk (Figura 20), donde se comprara la distribución de los cuatro tratamientos. Los datos promedio de las respuestas para este mismo análisis de cada tratamiento se encuentran en el Cuadro 8.

Cuadro 8 Promedios de la resistencia en elongación de las muestras estudiadas

MUESTRA	Módulo elástico (MPa)	Resistencia máxima (MPa)	Deformación a la ruptura (%)
PEBD POST-CONSUMO	326 ± 21	10,4 ± 0,8	17,1 ± 5,4
PEAD-PP	863 ± 63	15,8 ± 2,5	4,2 ± 0,9
PEAD-PEBD	149 ± 31	4,0 ± 0,7	24,7 ± 2,9

Fuente: POLIUNA 2012

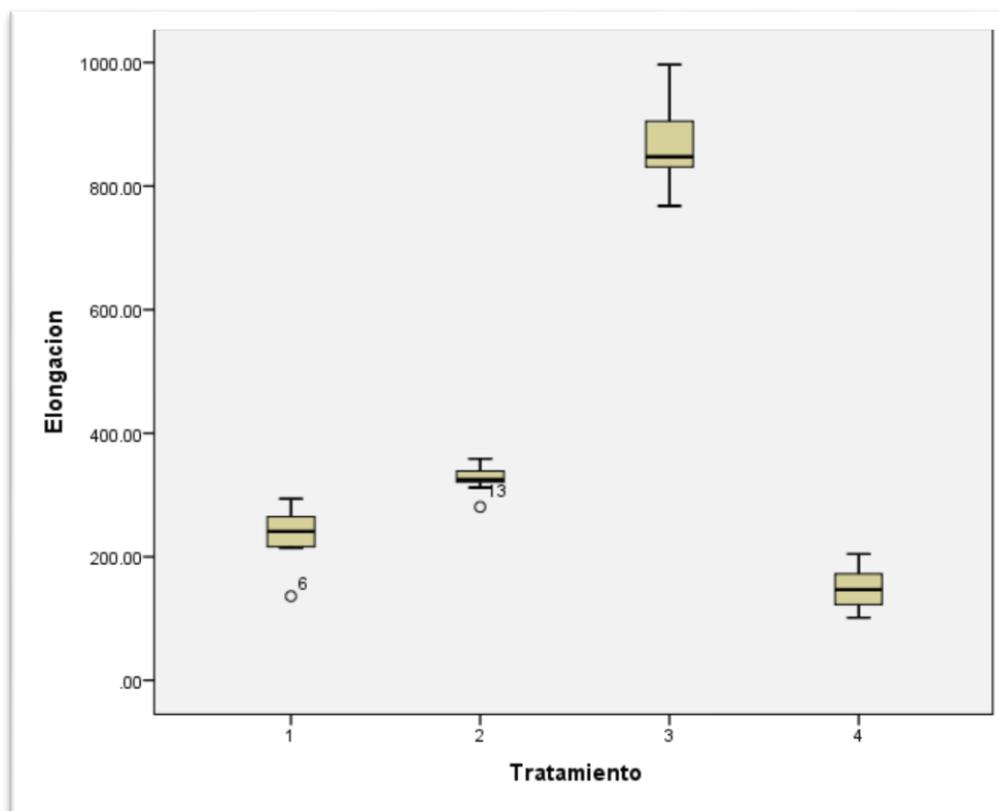


Figura 20 Test de normalidad de los cuatro tratamientos respecto a la resistencia en elongación  
Fuente: Datos procesados SPSS, 2012

Como resultado del análisis no paramétrico según Kolmogorov-Smirnov, respecto a la comparación de medianas, se obtuvo el Cuadro 9 y la comparación de medias en el cuadro 10.

Cuadro 9 Procesamiento datos de resistencia en elongación de las muestras estudiadas

Tratamientos	Significancia	Resultado
1-2	0,001	Rechaza la hipótesis nula
1-3	0,000	Rechaza la hipótesis nula
1-4	0,001	Rechaza la hipótesis nula
2-3	0,000	Rechaza la hipótesis nula
2-4	0,000	Rechaza la hipótesis nula
3-4	0,000	Rechaza la hipótesis nula

Fuente: tratamientos datos SPSS, 2012

Cuadro 10 Distribución de las muestras acorde de la media de la variable resistencia en elongación

Muestra	Repeticiones	Media (MPa)
3	10	863,44
2	10	326,01
1	10	237,21
4	10	149,47

Fuente: tratamientos datos SPSS, 2012

Los datos procesados en los que se consideró una distribución normal para los tratamientos estudiados, demostraron el mismo comportamiento de la prueba de resistencia en elongación, para las pruebas de resistencia en flexión y resistencia al impacto Izod; por lo que se excluyeron los resultados de este apartado.

Los resultados promedio de los valores respuesta obtenidos en el análisis de resistencia en flexión se presentan en el Cuadro 11 y su debido procesamiento acorde al diseño experimental de comparación de medianas según Kolmogorov-Smirnov se encuentra en el Cuadro 12. La distribución de los tratamientos estudiados se encuentra en el cuadro 13.

Cuadro 11 Determinación de la resistencia en flexión

MUESTRA	Módulo elástico (MPa)	Tensión en flexión al 5% de deformación (MPa)
PEBD POST-CONSUMO	396 ± 17	13,0 ± 0,4
PEAD-PP	784 ± 103	26,1 ± 2,8
PEAD-PEBD	120 ± 26	4,2 ± 0,8

Fuente: POLIUNA 2012

Cuadro 12 Procesamiento datos de resistencia en elongación de las muestras estudiadas

Tratamientos	Significancia	Resultado
1-2	0,000	Rechaza la hipótesis nula
1-3	0,000	Rechaza la hipótesis nula
1-4	0,000	Rechaza la hipótesis nula
2-3	0,000	Rechaza la hipótesis nula
2-4	0,000	Rechaza la hipótesis nula
3-4	0,000	Rechaza la hipótesis nula

Fuente: tratamientos datos SPSS, 2012

Cuadro 13 Distribución de las muestras acorde de la media del módulo elástico de la variable resistencia a la flexión

Muestra	Repeticiones	Media(MPa)
3	10	787.94
2	10	395.95
1	10	228.58
4	10	119.52

Fuente: tratamientos datos SPSS, 2012

Los resultados promedio de los valores respuesta obtenidos para el análisis de resistencia al impacto de péndulo modo IZOD, se presentan en el Cuadro 14 y su debido procesamiento acorde al diseño experimental de comparación de medianas según Kolmogorov-Smirnov se encuentra en el Cuadro 15, su ordenamiento en el cuadro 16.

Cuadro 14 Resistencia al impacto de péndulo modo IZOD

MUESTRA	Grosor promedio (mm)	Resistencia al impacto (J/m) (kJ/m <sup>2</sup> )	Tipo de fractura
PEBD POST-CONSUMO	4,5 ± 0,5	83,82 ± 20,74 8,48 ± 2,12	QB: 100 % de los especímenes
PEAD-PP	5,0 ± 0,5	22,74 ± 15,56 2,45 ± 1,76	QC: 37,5 % de los especímenes
		16,39 ± 5,20 1,75 ± 0,57	QB: 62,5 % de los especímenes
PEAD-PEBD	4,5 ± 0,7	141,72 ± 129,84 15,72 ± 14,46	NQ: 50,0 % de los especímenes
		129,98 ± 39,30 14,27 ± 4,66	QP: 50,0 % de los especímenes

Fuente: POLIUNA 2012

QB: Quebradura tipo bisagra, en donde una parte queda unida a la otra por una pequeña porción del material

QC: Quebradura completa

QP: Quebradura parcial

NQ: No hay quebradura

Cuadro 15 Procesamiento datos de resistencia al impacto de péndulo modo IZOD

Tratamientos	Significancia	Resultado
1-2	0,000	Rechaza la hipótesis nula
1-3	0,000	Rechaza la hipótesis nula
1-4	0,001	Rechaza la hipótesis nula
2-3	0,000	Rechaza la hipótesis nula
2-4	0,179	Rechaza la hipótesis nula
3-4	0,015	Rechaza la hipótesis nula

Fuente: tratamientos datos SPSS, 2012

Cuadro 16 Distribución de las muestras acorde a la media de la variable resistencia al impacto de péndulo modo IZOD

Muestra	Repeticiones	Media (J/m)
1	10	258,00
4	10	141,72
2	10	83,82
3	10	16,39

Fuente: tratamientos datos SPSS, 2012

### 3.3.1.2 *Análisis propiedades térmicas*

Los resultados promedio obtenidos para los análisis de calorimetría diferencial de barrido y análisis termogravimétrico se pueden observar en los cuadros 17 y 18.

**Cuadro 17 Resultados de la calorimetría diferencial de barrido (DSC) de las muestras**

MUESTRA	Temperatura de fusión (°C ± 0,001)	Temperatura de fusión (°C ± 0,001)
PEBD POST-CONSUMO	111,801	126,218
PEAD-PP	*****	130,929
PEAD-PEBD	112,973	123,608

Fuente: POLIUNA 2012

**Cuadro 18 Resultados del análisis termogravimétrico (TGA)**

MUESTRA	Temp. inicial (°C ± 0,01)	Temp. final (°C ± 0,01)	Cambio de Temperatura (°C ± 0,01)	Residuo (% ± 0,001)
PEBD POST-CONSUMO	380,85	516,90	136,05	1,151
PEAD-PP	428,59	512,88	84,29	1,995
PEAD-PEBD	455,24	521,02	65,78	2,326

Fuente: POLIUNA 2012

## 4 Discusión

### 4.1 Recuperación de materiales poliméricos

A partir del desarrollo de la campaña de Ambientados-JASEC y las respectivas reuniones, se denotó que el principal problema que tenía el programa era la calidad en la limpieza con que se recibía todo el material reciclable, muchas personas consideran que el reciclar es un problema de otros, por lo que entregan el material sin preparación alguna para su reproceso. Al diseñar una nueva guía se buscó solucionar los principales problemas observados y así obtener material limpio para la formulación de las nuevas mezclas.

### 4.2 Caracterización del poliducto

Al inicio de la investigación, el Señor Óscar Gutiérrez, Presidente de la empresa ICEC S.A. mostró la inquietud de tener un poliducto de riego de calidad, ya que los agricultores, quienes en el uso cotidiano utilizan esta herramienta, tenían situaciones como quebraduras en el ducto que les impedía el traslado de agua a sus cultivos. Según mencionó en un artículo de TYT: Revista Ferretera: buscaba un producto que además de versátil, fuera uniforme en su estructura, para que no sufriera deformaciones ni rupturas inesperadas” (<http://www.tytenlinea.com>); es por ello que uno de los objetivos fue caracterizar este poliducto y como resultado de los análisis mecánicos estudiados (resistencia en elongación, en flexión e impacto al péndulo), el poliducto de riego se clasificó como una mezcla uniforme de polietileno de baja densidad, derivándose dicha afirmación de la comparación entre los datos de fuerzas mecánicas y térmicas reportadas para el polietileno de baja densidad y los valores obtenidos para el ducto.

Una de las propiedades analizadas fue la resistencia en la elongación, para ello primero es importante analizar la resistencia tensil del material, ya que para el caso del poliducto de riego, siempre va a ser extendido o va a estar sometido a tensión o largos estiramientos en condiciones ambientales muy variables, es por ello que la materia que da origen al ducto necesita tener buena resistencia a la tensión. Adicional se determinó la elongación como el tipo de deformación que muestra el cambio en la forma que experimenta el ducto bajo tensión; es decir que la muestra se deformó por estiramiento, volviéndose más larga, este proceso se llama elongación y se mide como elongación elástica, lo cual es el porcentaje de elongación al que se puede llegar sin una deformación permanente de la muestra (Odián, G. 1991). Según Harper (1975), la deformación de la ruptura para el PEBD está entre 20-800 %; el producto estudiado se localizó con un valor de  $142 \pm 114$  %.

Una forma de medir la relación de la tensión respecto a la elongación se hizo graficando una curva de tensión-estiramiento (Figura 14). Donde la altura de la curva cuando la muestra se rompió representó la resistencia máxima, y la pendiente representó el módulo elástico. Los valores promedio obtenidos para las diez probetas estudiadas, marcaron para resistencia en elongación un módulo elástico o pendiente de la curva de  $(237 \pm 46)$  MPa con una resistencia máxima de  $(10,5 \pm 1,2)$  MPa. En la gráfica las pendientes son muy suaves, por lo que se puede decir que las muestras poseen bajos módulos tensiles, por lo tanto pueden ser deformados con facilidad. A medida que la tensión va incrementando, la pendiente, es decir el módulo, no es constante, sino que fue

experimentando pequeños cambios con la tensión. En este caso, se tomó como módulo la pendiente inicial, como puede verse en la curva de la Figura 14.

Otra de las propiedades analizadas fue la resistencia en flexión al 5% de deformación, que es utilizada como medida de rigidez requerida para doblar la probeta de ensayo en una cantidad determinada y se utiliza cuando se dobla la barra de ensayo demasiado sin romperse (Harper, 1975), dado que muchos termoplásticos no se rompen en esta prueba, se reportaron los datos de módulo de flexión (carga máxima de flexión en el punto central de presión). El material pudo sobrellevar grandes deformaciones, a pesar de que se le aplicó altas cargas, no se rompió, por lo que se reportó el nivel de estrés para una deformación de 5%. Este análisis se hace en piezas y materiales que van a estar sometidas a flexión, como caso del poliducto en estudio, que siempre deber enrollarse para su distribución. La deformación elástica es reversible y desaparece después de eliminar el estrés (Mark, J. 1999). El módulo de flexión no reporta datos teóricos para PEBD, sin embargo el poliducto logra valores de  $(8,3 \pm 0,8)$  MPa al 5% de deformación. En la figura 15 se muestra el ejemplo de un gráfico que define la relación entre un esfuerzo de flexión y la tensión resultante medida en porcentaje; de donde se obtiene un dato promedio de la pendiente o módulo elástico del poliducto con un valor de  $229 \pm 28$  MPa.

También fue determinada la resistencia al impacto por medio del método IZOD. La resistencia al impacto representa la resistencia o tenacidad de un material rígido a la repentina aplicación de una carga mecánica (Harper, 1975). Para los ensayos de resistencia al impacto, se aplicó un esfuerzo repentino sobre las probetas de cada muestra. Esta prueba es convencionalmente determinada para medir la energía requerida para fracturar una probeta bajo condiciones normalizadas. La teoría informa que el PEBD no rompe ante tal fuerza, cumpliendo el poliducto también con esta caracterización, ya que no hubo rompimiento en ninguna de las muestras estudiadas ante una resistencia de  $(258 \pm 40)$  J/m.

Respecto a los parámetros térmicos estudiados, la calorimetría diferencial de barrido es una técnica empleada para analizar las transiciones térmicas de un polímero, que son cambios que tienen lugar en un cuando el polímero se calienta. Harper (1975) reporta para el DSC una temperatura de Fusión ( $T_m$ ) con valores entre 106-115 (°C) para el PEBD. El poliducto alcanza una temperatura promedio entre corridas de 119,8 °C muy cercana al valor teórico del PEBD, su leve diferencia se da por ser un material reprocesado, donde sus propiedades pueden variar un poco. En la gráfica se traza una curva de flujo de calor a medida que la temperatura se incrementa. Sobre el eje "x" se gráfica la temperatura, sobre el eje "y" la diferencia de producción de calor entre dos calefactores, a una dada temperatura. Mediante el análisis DSC se pueden determinar la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ), necesaria para darle maleabilidad al polímero en el proceso de extrusión, antes de llegar a la temperatura de fusión ( $F_m$ ).

Según Carraher, C. E. and Seymour, R. B. (1995), el análisis de TGA mide la cantidad y la velocidad del cambio de peso de una muestra en función de la temperatura y/o del tiempo en una atmósfera controlada. De manera general, permite realizar medidas para determinar la composición de los materiales y predecir su estabilidad a temperaturas de hasta 1000 °C. Esta técnica puede, por

tanto, caracterizar materiales que presentan pérdida o ganancia de peso debido a la descomposición, oxidación o deshidratación. No se reportan datos teóricos para el PEBD, sin embargo, tanto para el DSC como el TGA, el flujo de calor y la temperatura fueron utilizados como material de referencia. Denotando todas las características estudiadas, se determinó que el poliducto de riego en estudio fue elaborado por una mezcla de PEBD, al ser comparados con los parámetros mecánicos y térmicos existentes.

### 4.3 Formulación de las nuevas mezclas

Para la elaboración de las láminas, se determinaron diferentes porcentajes de materiales para cada mezcla efectuada; de las cuales se obtuvieron tres mezclas, la primera contuvo un 100% de PEBD post-consumo; proveniente de diferentes materias primas de polietilenos de baja densidad, su apariencia se puede observar en la Figura (21 - a). Se caracterizó por ser sólida con pequeñas ranuras que se despegaban de la mezcla al aplicársele una fuerza. Se extruyó con un grosor de aproximadamente 5 mm.

La segunda mezcla fue de Polietileno de alta densidad y polipropileno, conocida en adelante como PEAD-PP (Figura 21), contuvo un 75% de PEAD y un 25% de PP, más un aditivo que permite mejorar su adhesión, su presentación se puede ver en la Figura (21 -b). El aditivo se reserva, pues es parte de “Know-how” de la empresa PRODUCOL S.A. Esta mezcla se caracterizó por tener apariencia sólida con pequeñas protuberancias y un grosor aproximado de 4 mm.

Una tercera mezcla de Polietileno de alta densidad y Polietileno de baja densidad, conocida en adelante como PEAD-PEBD, contuvo un 75% de PEAD y un 25% PEBD, su presentación se puede ver en la Figura (21 - c). Se caracterizó por ser sólida con una textura muy rugosa, pero consistente en la mezcla. Tuvo un grosor de aproximadamente 5 mm. La información provista Tesis de Licenciatura de Andrea San Gil (2011), que indica que la lámina plástica que se producen en REPLACORI es 75 % PEBD y 25 % PEAD, se utilizó como referencia para diseñar la formulación de esta muestra.



Figura 21 Apariencia de las diferentes formulaciones de las mezclas  
Fuente: Fotografías MLBH, 2012

Las variaciones de las propiedades mecánicas y térmicas estudiadas, se achacan a factores producidos en el proceso de extrusión, pues en algunos casos las láminas extruidas no alcanzaron su punto de fusión, dándose mezclas heterogéneas con temperaturas de operación menores a las necesarias para llegar a su fundición, esto permitió la maleabilidad de los polímeros, más no su homogeneidad. Esto se denotó a simple vista, con láminas heterogéneas y rugosas en su relieve,

características que según Parma, H. J. (2011) son normales, pues las estructuras de las mezclas son inestables y a veces hasta irreproducibles.

### ***Análisis estadístico***

Al existir tres muestras diferentes, se determinó que era preciso examinar las diferencias entre las muestras a nivel estadístico, con el fin de determinar cual muestra fue significativamente mejor, reproduciendo los mismos análisis a cada tratamiento y mismo número de repeticiones, para ello se desarrolló un método experimental, que tuvo hipótesis alternativa la búsqueda de la diferencia de las muestras o tratamientos. Por lo que se debió realizar inicialmente análisis paramétricos y al término de sus resultados se debió aplicar análisis no paramétricos.

En el análisis estadístico paramétrico, como producto, se obtuvo que todos los tratamientos son diferentes entre sí, además, cualitativamente se notó que hay diferencias entre los tratamientos, pero no cumplió con la distribución normal de los datos, lo cual hizo poco confiable los resultados. Inicialmente se asumió que el estadístico calculado se comportaría siguiendo una determinada distribución normal según Sheskin (2000), sin embargo los primeros resultados mostraron que los datos no se ajustaban a ese parámetro, situación que se puede observar claramente en la Figura 20.

Por lo tanto, fue necesario usar pruebas no paramétricas, con el inconveniente de que son pruebas más rústicas, donde se comparan dos pares entre sí y no tratamientos como ocurre con las pruebas paramétricas. Cabe indicar que esta situación se da, pues la cantidad de repeticiones por tratamiento fue muy poca. La prueba no paramétrica, no requirió asumir normalidad de la población y en su mayoría se basó en el ordenamiento de los datos, para comparar las medianas de cada tratamiento según la hipótesis nula y alternativa propuesta.

Como resultado se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, para todos los casos analizados en los ensayos mecánicos, rechazando la hipótesis nula, con valores de significancia alrededor de 0.000 o 0.001. Y en todos los casos, menores al alfa propuesto igual a 5 %, por lo que se concluye que se acepta la hipótesis alternativa, que significa que todos los tratamientos son diferentes. Por ello se pudo tomar decisiones y distribuir los tratamientos respecto a las medias poblacionales y así completar con el objetivo de desarrollar una formulación que mejorará las propiedades del poliducto.

### ***Ensayos mecánicos***

Para el análisis de la resistencia a la elongación o bien el porcentaje de elongación al que se puede llegar sin una deformación permanente y el análisis de la resistencia en la flexión, la mezcla de PEAD-PP-aditivo mejora las características en ambas pruebas, con valores de módulo elástico, porcentaje de deformación de la ruptura y tensión en flexión al 5 % de deformación superiores al poliducto estudiado. La mezcla PEBD post consumo, también cumple con mejorar las características del poliducto en ambas pruebas.

Utracki (2002), ha demostrado que las mezclas de diferentes tipos de PE mejoran las propiedades mecánicas y de procesabilidad del material, situación que se da para la formulación de PEBD reciclado, sin embargo esta probabilidad no se cumple en la composición de dos tipos de

polietileno, PEAD-PEBD, resultado que se atribuye a la homogeneidad de la mezcla y la diferencia de temperaturas utilizadas en el reproceso, que llevo a la formación de burbujas y la apariencia de piel de naranja; cumpliéndose el razonamiento de Parma, H. J. (2011) que dice que la mezcla de polímeros usualmente resulta en un sistema inmiscible, dependiendo del grosor, la facilidad de alterar la morfología y la pobre adhesión entre las fases. Por lo que la muestra que no supera las propiedades mecánicas de elongación y flexión, es la mezcla de PEAD-PEBD.

Respecto al análisis de resistencia al impacto al péndulo modo IZOD, Kulshreshtha, A.K.; Vasile, C. (2002) dice que la mezcla PEAD-PEBD, el PEAD facilita la cristalización de ramificaciones largas en el PEBD y que además tiene mejoras en el impacto al péndulo, razonamiento que se cumple solo en el 50 % de las muestras estudiadas de esta mezcla, además de una quebradura parcial en el otro 50 % de ellas.

En orden de mejora de las propiedades de resistencia al impacto al péndulo modo IZOD del poliducto, continúa la muestra PEBD post-consumo que tuvo quebraduras tipo bisagra, donde una parte queda unida a la otra por una pequeña porción de material en el 100 % de los especímenes estudiados. La mezcla de PEAD-PP-aditivo tuvo un 37, 5% de quebradura total en los especímenes y el resto se quebró tipo bisagra. El material del poliducto no tuvo quebraduras demostrando a nivel cuantitativo que las muestras estudiadas son de menor calidad y no cumplen con las especificaciones del ducto, lo que permite concluir que un ducto de estos materiales no soportaría fuertes dobleces ni enrollamientos, pues se quebrarían con demasiada facilidad.

### ***Propiedades térmicas***

Para las nuevas mezclas, también se ensayaron la calorimetría diferencial de barrido, para analizar las transiciones térmicas de un polímero y el análisis de TGA para medir la cantidad y la velocidad del cambio de peso de una muestra en función de la temperatura.

La fusión es una transición que se da en los polímeros cristalinos. Ocurre cuando las cadenas poliméricas abandonan sus estructuras cristalinas y se transforman en un líquido desordenado (Departamento de ciencias de los polímeros, 1997). Al comparar las temperaturas de fusión de todas las muestras, se reconoce el comportamiento individual de cada uno de los componentes de las mezclas, razón por la cual se muestran dos picos, uno del componente que funde primero y el luego del que funde a una temperatura más alta.

Por ejemplo, la mezcla PEAD-PP reporta solo una temperatura de fusión, pues según POLIUNA (2012) el analizador reconoció un pico de temperatura de 131,8 °C, siendo este el punto de fusión del componente, PEAD, que según Harper (1975) reporta una temperatura de fusión entre 127-135 °C. El PP puro tiene una temperatura de fusión aceptada de 161,2 °C y una entalpía de fusión de 95, 3 J/g (Serrano G. 2012), sin embargo, ese valor no fue reflejado en el análisis.

La mezcla PEBD post-consumo reportó un pico a 111,801 °C y otro a 126,218 °C, lo cual varía un poco respecto a la temperatura de fusión teórica del PEBD que esta entre 106-115 °C, lo que implica que al ser una mezcla heterogénea tuvo variaciones en el encadenamiento de sus componentes y por ende en su temperatura.

La mezcla de PEAD-PEBD, también mostró dos picos, el inicial corresponde al PEBD con un valor 112,973 °C y otro valor de 123,608 °C, colocándose a una temperatura más baja del ámbito de fusión del PEAD, que por la misma razón del caso anterior pudo darse por modificaciones en sus propiedades de encadenamiento. Cabe resaltar, que los valores analizados para poliducto en estudio, mostró variaciones en sus temperaturas de fusión respecto a las dos corridas; se realiza la primera corrida, se deja enfriar y luego se vuelve a correr. Las variaciones se ven reflejadas en especialmente en su calor de fusión.

Para los resultados para TGA, se ha determinado exactamente la temperatura de inicio de la descomposición y la temperatura de finalización de la misma de todas las mezclas así como la del poliducto, las cuales mostraron valores relativamente pequeños, para las mezclas PEAD-PP y PEAD-PEBD, y un poco más altos para las mezcla del PEBD post consumo y del poliducto. Esto es debido a que se produce una descomposición gradual de cada uno de sus componentes.

De forma general, en las mezclas de al menos dos componentes, la temperatura inicial de descomposición aumenta y el cambio de temperatura es mayor para los casos en que se considera un solo componente, por ejemplo PEBD post consumo y el poliducto, que ambos están constituidos solo de PEBD.

## **5 Conclusiones**

Del desarrollo de esta actividad de fortalecimiento, se puede concluir que:

Los materiales poliméricos post consumo recuperados en las campañas de reciclaje, se pueden utilizar efectivamente en la producción de nuevos materiales reciclados como se demostró en este documento.

El utilizar materiales de reciclaje para producción de materias primas, implica ventajas en conservación de energía y agua, disminución de espacios en rellenos, reducción de emisiones y disminución en los costos de importación de materias primas.

El material usado en el poliducto importado y utilizado como referencia en la elaboración de las otras muestras es caracterizado, por sus propiedades mecánicas y térmicas, como una resina de Polietileno de Baja Densidad.

Se ha llevado a cabo la obtención y caracterización térmica y mecánica de tres mezclas diferentes, a saber: PEBD post-consumo, PEAD-PP y PEAD-PEBD.

La formulación desarrollada a partir de materiales poliméricos post consumo, para semejar o mejorar las características mecánicas del material del poliducto importado fue la mezcla de diferentes productos de PEBD post-consumo con 95 % de confianza, cumpliendo al 100 % con requisitos de resistencia en elongación, resistencia en flexión, y necesitando la optimización de las características para resistencia al impacto modo IZOD.

La mezcla PEBD post consumo y el poliducto, tienen temperaturas de descomposición semejantes, además muestran cambios de temperatura de descomposición mayores que las mezclas PEAD-PP y PEAD-PEBD otros productos.

## 6 Recomendaciones

1. Es importante la necesidad de dar seguimiento a las campañas de recolección de materiales post-consumo, específicamente en la temática de concientización a los usuarios; por ejemplo en la importancia de entregar material limpio y seco, con el fin sean reprocesadas mayores cantidades de material y pueden generar beneficios económicos a quienes lo trabajan.
2. Darle continuación a esta investigación, con la formulación de nuevas y diferentes mezclas y el perfeccionamiento de las mismas a partir de nuevos aditivos y polímeros:
  - Kulshreshtha, A.K.; Vasile, C. (2002) dice que la mezcla de PEBD-PEAD, procesada en presencia de peróxido de dicumilo (DCP) tiene mejores propiedades mecánicas; y al agregar pequeñas cantidades de PP se puede modificar la viscosidad de esta mezcla, por lo que para esta investigación se recomienda utilizar aditivos para mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla PEBD-PEAD.
  - Según la teoría y lo visto en esta investigación, las propiedades mecánicas en las mezclas sufren cambios, sin embargo no fue probada la mezcla de PEBD/PP, que según varios escritores se obtienen cambios mecánicos como mejoras en la resistencia al impacto, pero con un máximo de 10 % de PP en la mezcla (Siliceo Bernardi, L. 2004).
4. Con el fin de mejorar las propiedades de las mezclas y lograr que la fundiciones generen mezclas homogéneas, se recomienda un proceso extrusión muy controlado.
5. Se debe hacer un estudio de factibilidad económica y disponibilidad de PP, pues se corre con el riesgo de que no haya abasto continuo (Siliceo Bernardi, L. 2004).
6. Observar a nivel micro y nano, el ordenamiento de las cadenas poliméricas de las mezclas y con ello generar nuevas e innovadoras recomendaciones. Además de incentivar la investigación utilizando nanomateriales para el mejoramiento de las propiedades mecánicas y térmicas de estas mezclas.

## **7 Agradecimientos**

A la Vicerrectoría de Investigación y Extensión, se le agradece por ser la única fuente de financiamiento de esta actividad de fortalecimiento.

A los programas de Ambientados-JASEC Y CTTM por su apoyo en la obtención y preparación del material trabajado.

A las empresas privadas ICEC S.A por brindar el poliducto para su caracterización y PRODUCOL S.A, por su colaboración en la producción de las mezclas.

A la estudiante de Ingeniería en materiales Karen Cordero, por su valioso aporte en la confección de las probetas.

## 8 Referencias

1. ASTM D-256 Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics.
2. ASTM D-638 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.
3. ASTM D-790 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials.
4. ASTM D-3417 Standard Test Method for Transition Temperatures of Polymers By Differential Scanning Calorimetry.
5. Carraher, C. E.; Seymour, R. B. (1995) Introducción a la química de los Polímeros. Editorial Reverté S.A; Barcelona, España. Pág. 160, 163, 321
6. Harper, C. (1975) Handbook of Plastics and Elastomers. McGraw-Hill, EUA. Cap. 1, 3 y 4
7. Infoagro Systems, S.L. C/ Capitán Haya, 60, 3º, 28020, Madrid, España. Última revisión: diciembre, 2012. En línea, versión disponible en: < <http://www.infoagro.com/>>
8. Kulshreshtha, A.K.; Vasile, C. (2002). Handbook of Polymer Blends and Composites, Volumes 1-4.. Smithers Rapra Technology. Online version available at: [http://www.knovel.com/web/portal/browse/display? EXT KNOVEL DISPLAY bookid=2219&VerticalID=0](http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=2219&VerticalID=0)
9. Mark, J. (1999) Polymer Data Handbook. Oxford University Press, Inc. USA. Pp. 493-507, 518-528, 928-934
10. Odian, G. (1991); Principles of Polymerization, 3rd ed., J. Wiley, New York, U.S.A.
11. Osswald T. (2011). Understanding polymer processing: processes and governing equation. Hanser publication, Germany. 286 pages.
12. Parma, H. J. (2011). Incorporation of virgin and recycled thermoplastics in UPVC-based blends. University of Massachusetts Lowell. ProQuest Dissertations and Theses, 94. Retrieved from <[http://search.proquest.com/docview/873743863?accountid=27651.\(873743863\)](http://search.proquest.com/docview/873743863?accountid=27651.(873743863))>
13. Plaza, H. (2004). Introducción a las Propiedades Mecánicas de Polímeros. Universidad de Chile.
14. POLIUNA, (2012). Informes de Ensayo No. 016-12 y 002-13. Laboratorio de Polímeros, Escuela de Química, Universidad Nacional de Costa Rica.
15. Programa Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible (2011) -18 ed- San José, Costa Rica: El programa. Pag. 179.
16. REDCICLA: Red Nacional de Reciclaje. Base de datos de Residuos Sólidos, Costa Rica. Empresas Recuperadoras de Materiales Reciclables. 2012. Última revisión: octubre, 2012. En línea, versión disponible en: <<http://www.redcicla.org/basededatos/displayEmpresas.php>>
17. Rubin, I. (2002) Materiales plásticos, propiedades y aplicaciones. Limusa Editores, México. Pag: 31-71, 93-130, 171-201.
18. Sheskin D., (2000) Parametric and Nonparametric Statistical Procedures. Boca Raton, FL: Chapman & Hall/CRC. Fifth Edition. 982 pag.
19. Serrano, G. (2012). Obtención y caracterización de mezclas de polipropileno y cera parafina para su aplicación en materiales de cambio de fase. Tesis Licenciatura. Ingeniería industrial. Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química. Escuela politécnica superior. Universidad Carlos III de Madrid.
20. San Gil, A. 2011. Factibilidad técnica del uso de plástico de desecho como material alternativo para la elaboración de señales de tránsito. Tesis Licenciatura. Departamento Ingeniería Ambiental, Escuela de Química. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
21. Siliceo Bernardi, L. (2004). Propuesta de empresa de reciclaje de plástico en el sector de envase y embalaje en Puebla. Tesis Licenciatura. Ingeniería Mecánica. Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla. Mayo. Derechos Reservados © 2004.

## **9 Anexos**

### **9.1.1 Guía de Manejo de Residuos TEC-Ambientados-JASEC**



### Vidrio

Transparente, ámbar, verde, azul, amarillo.

¿Como se deben de traer los envases de vidrio en los contenedores de reciclaje?



Quitar la tapa, enjuagar y escurrir



Depositar sin quebrar de uno en uno en los contenedores

El material quebrado se deposita en cajas de cartón, se sella con cinta y se rotula como: "vidrio quebrado".



## NO se recicla

Empaques metalizados (celofán, aluminio) como bolsas de café, leche en polvo.

Papel NO debe contener comida o grasa, NO puede ser de celofán, de fax, carbón, higiénico, toallas sanitarias, ni pañales desechables.

Empaques como cartones de huevos.

Residuos peligrosos como estereofón, bombillos, tubos fluorescentes, espejos, pyrex, vidrio de automóvil, cerámicas, vajillas, termómetros, vidrios planos de cualquier color (ventanas y celosías).



Elaborado por:  
Ing. Mary Luz Barrios Hder.  
mbarrios@iter.ac.cr  
Tel. 2550-9134

**TEC** | Tecnológico de Costa Rica

## Guía para el Manejo de Residuos Sólidos Ordinarios



Como acondicionar su material para reciclaje

**TEC** | Tecnológico de Costa Rica

### Papel

Hojas de todo tipo blancas, rayadas, de color, con o sin tinta, revistas periódicos, cartulinas y cajas de embalaje.

¿Como se debe de traer el papel en los contenedores de reciclaje?



Limpio, seco y sin grasa



Sin arrugar

Retirar clips y grapas metálicas



### Plástico

♻️ PET: botellas de agua, gaseosas refresco, sirope.

♻️ HD/HDPE: envases de jugos, galones, salsas, yogurt.

♻️ PVC: Tuberías, envases de jabón

♻️ LDPE: bolsas plásticas que no crujen.

♻️ PP: bolsas que crujen, envases grandes de helados, aceite vegetal.

¿Como se deben de traer los envases plásticos en los contenedores de reciclaje?

Quitar la tapa, escurrir (No debe tener ningún objeto adentro), aplastar y colocar la tapa.



Depositar de una en una en los contenedores.



### Aluminio

100% Aluminio (Latas de cerveza, jugos etc.)

¿Como se debe de traer los envases plásticos en los contenedores de reciclaje?



Enjuagar y escurrir

Aplastar



Depositar de una en una en los contenedores



### 9.1.2 Propiedades teóricas de resistencia y métodos de prueba asociados (ASTM) según plástico a evaluar

Propiedad y Método de Prueba ASTM	Descripción	PEBD	PEAD	PP
Temperatura de Fusión, Tm (°C) D-3418	Mide una transición que se manifiesta cuando las cadenas poliméricas abandonan sus estructuras cristalinas y se transforman en un líquido desordenado.	106-115	127-135	173
Temperatura de Transición Vítreo, Tg (°C) D-3418	Mide una transición que se manifiesta en los polímeros amorfos; polímeros cuyas cadenas no están dispuestas según un ordenamiento cristalino, sino que están esparcidas en cualquier ordenamiento, aún en estado sólido. En esta temperatura, las propiedades de un polímero sufren un cambio notorio, relacionado con el virtual cese de movimiento molecular en la escala local.	-126	-133 a -113 -88 a -73 -43 a -13 (polietileno)	-10
Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) D-792	Dato de importancia en el precio, calidad del material y en el control de la producción.	0,915-0,935	0,941-0,967	0,9-0,91
Elongación ante tensión a la ruptura (%) D-638	Mide la fuerza necesaria para romper el material estirándolo. El módulo elástico describe el nivel de estrés bajo el límite de ruptura. Se busca elongación media, para absorber impactos rápidos y shock. Un material con mucha fuerza de tensión pero poca elongación sería quebradizo. El área total bajo la curva de estrés vs elongación, es el indicador de la fuerza del material.	20-800	10-800	1100-1600
Resistencia al impacto IZOD (J/m) D-256	Indica la energía requerida para romper un espécimen con muesca bajo condiciones estándar. Útil para comparar diferentes grados de peso molecular de un mismo plástico, pero no es confiable para comparar plásticos porque distintos materiales pueden tener condiciones de estrés acumuladas por hacerles la muesca para la prueba.	No rompe	27-160	-
Módulo Flexión (MPa) D-790	Una muestra que se dobla es sujeta a estrés de tensión y compresión. Dado que muchos termoplásticos no se rompen en esta prueba, se reporta estrés al 5% de deformación.	No se reporta	1000-4000	1190- 1750

Fuentes: Rubin, I. 2002 y Harper, C. 1975. Normas ASTM respectivas

### 9.1.3 Datos del análisis estadístico

Análisis Paramétrico

ONEWAY Elongacion BY Tratamiento

/STATISTICS DESCRIPTIVES HOMOGENEITY

/MISSING ANALYSIS

/POSTHOC=TUKEY DUNCAN SCHEFFE ALPHA(0.05).

#### Descriptives

Elongacion

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
					Lower Bound	Upper Bound	
1	9	239.8200	48.30731	16.10244	202.6877	276.9523	136.25
2	10	326.0100	20.72213	6.55291	311.1863	340.8337	280.76
3	10	863.4370	63.32454	20.02498	818.1374	908.7366	767.91
4	10	149.4680	31.04719	9.81798	127.2582	171.6778	101.54
Total	39	398.6546	286.92074	45.94409	305.6457	491.6636	101.54

#### Descriptives

Elongacion

	Maximum
1	294.09
2	358.62
3	996.68
4	204.73
Total	996.68

#### Test of Homogeneity of Variances

Elongacion

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.414	3	35	.083

#### ANOVA

Elongacion

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3060994.660	3	1020331.553	530.643	.000
Within Groups	67298.751	35	1922.821		
Total	3128293.412	38			

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Elongacion

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval
					Lower Bound
Tukey HSD	2	-86.19000*	20.14768	.001	-140.5263
	3	-623.61700*	20.14768	.000	-677.9533
	4	90.35200*	20.14768	.000	36.0157
	1	86.19000*	20.14768	.001	31.8537
	3	-537.42700*	19.61031	.000	-590.3141
	4	176.54200*	19.61031	.000	123.6549
	1	623.61700*	20.14768	.000	569.2807
	2	537.42700*	19.61031	.000	484.5399
	4	713.96900*	19.61031	.000	661.0819
	1	-90.35200*	20.14768	.000	-144.6883
	2	-176.54200*	19.61031	.000	-229.4291
	3	-713.96900*	19.61031	.000	-766.8561
Scheffe	2	-86.19000*	20.14768	.002	-145.3520
	3	-623.61700*	20.14768	.000	-682.7790
	4	90.35200*	20.14768	.001	31.1900
	1	86.19000*	20.14768	.002	27.0280
	3	-537.42700*	19.61031	.000	-595.0111
	4	176.54200*	19.61031	.000	118.9579
	1	623.61700*	20.14768	.000	564.4550
	2	537.42700*	19.61031	.000	479.8429
	4	713.96900*	19.61031	.000	656.3849
	1	-90.35200*	20.14768	.001	-149.5140
	2	-176.54200*	19.61031	.000	-234.1261
	3	-713.96900*	19.61031	.000	-771.5531

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Elongacion

	(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	95% Confidence Interval
			Upper Bound
Tukey HSD		2	-31.8537*
	1	3	-569.2807*
		4	144.6883*
		1	140.5263*
	2	3	-484.5399*
		4	229.4291*
		1	677.9533*
	3	2	590.3141*
		4	766.8561*
		1	-36.0157*
	4	2	-123.6549*
		3	-661.0819*
Scheffe		2	-27.0280*
	1	3	-564.4550*
		4	149.5140*
		1	145.3520*
	2	3	-479.8429*
		4	234.1261*
		1	682.7790*
	3	2	595.0111*
		4	771.5531*
		1	-31.1900*
	4	2	-118.9579*
		3	-656.3849*

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

## Homogeneous Subsets

Elongacion						
Tratamiento	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	
Tukey HSD <sup>a,b</sup>	4	10	149.4680			
	1	9		239.8200		
	2	10			326.0100	
	3	10				863.4370
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000
Duncan <sup>a,b</sup>	4	10	149.4680			
	1	9		239.8200		
	2	10			326.0100	
	3	10				863.4370
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000
Scheffe <sup>a,b</sup>	4	10	149.4680			
	1	9		239.8200		
	2	10			326.0100	
	3	10				863.4370
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.730.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

## Tratamiento

**Case Processing Summary**

Tratamiento	Cases						
	Valid		Missing		Total		
	N	Percent	N	Percent	N	Percent	
Elongacion	1	9	100.0%	0	0.0%	9	100.0%
	2	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
	3	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%
	4	10	100.0%	0	0.0%	10	100.0%

**Extreme Values<sup>a</sup>**

Tratamiento	Case Number	Value	
1	1	8	
	Highest	2	294.09
		4	291.30
		3	265.00
	4	5	261.95
	1	6	136.25
	Lowest	2	213.92
		3	216.40
		4	1
	Elongacion	1	18
2		15	
Highest		3	358.62
		16	339.38
		3	338.99
4		19	337.56
5		14	328.99
2		1	280.76
		2	10
		3	312.01
Lowest	3	17	
	17	320.65	
	4	11	
3	5	12	
	1	25	
	2	20	
	Highest	3	996.68
		27	921.63
		3	904.91
	4	23	
	23	857.57	
	5	29	
	29	847.39	

		1	26	767.91
		2	24	818.64
	Lowest	3	28	830.79
		4	22	841.51
		5	21	847.34
		1	33	204.73
		2	37	177.85
	Highest	3	38	172.46
		4	32	163.60
		5	36	152.57
4		1	31	101.54
		2	34	120.18
	Lowest	3	30	122.69
		4	39	137.47
		5	35	141.59

a. The requested number of extreme values exceeds the number of data points. A smaller number of extremes is displayed.

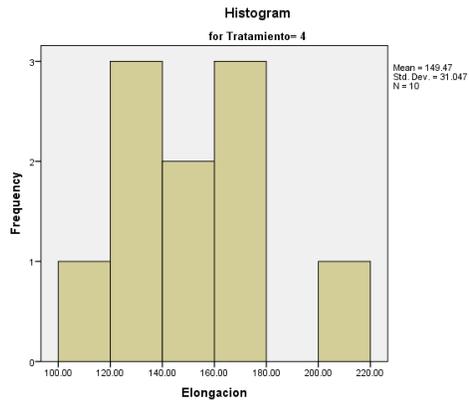
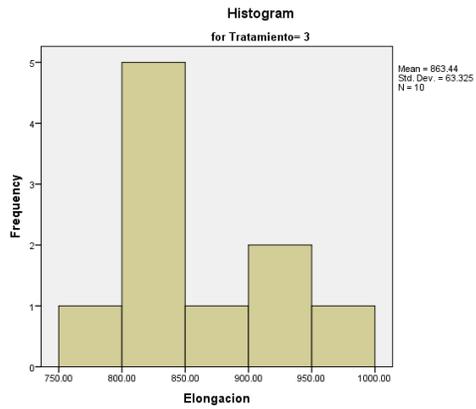
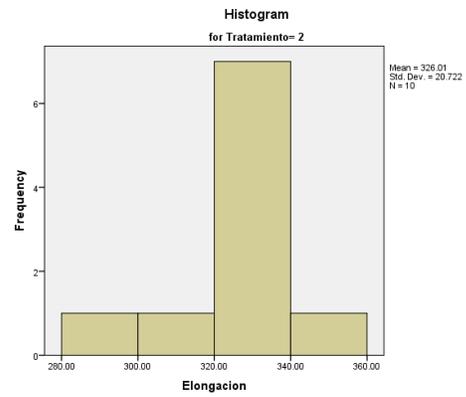
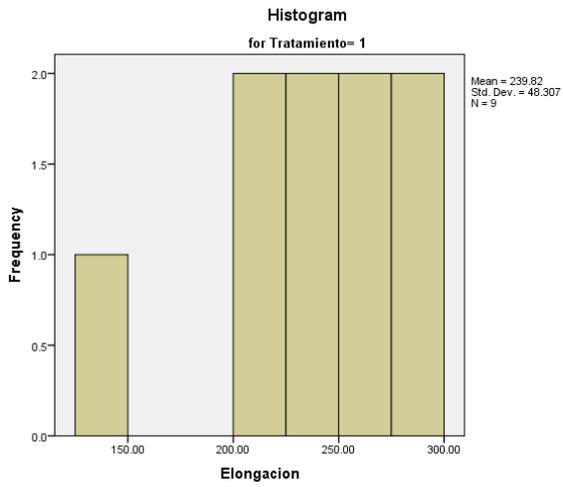
#### Tests of Normality

Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
1	.185	9	.200 <sup>*</sup>	.904	9	.273
2	.198	10	.200 <sup>*</sup>	.927	10	.424
3	.237	10	.118	.928	10	.427
4	.106	10	.200 <sup>*</sup>	.986	10	.989

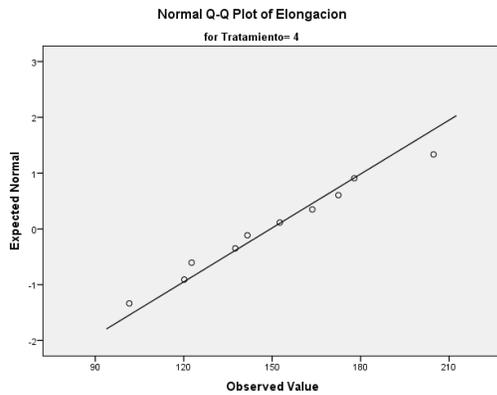
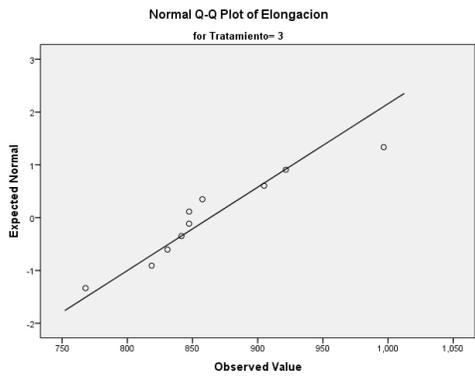
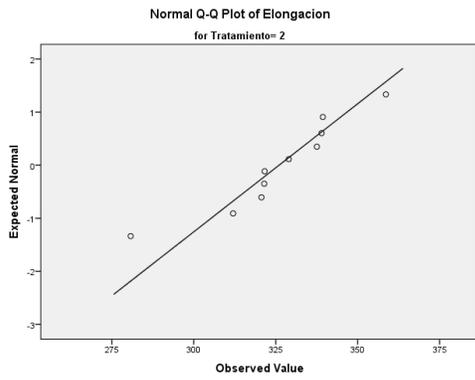
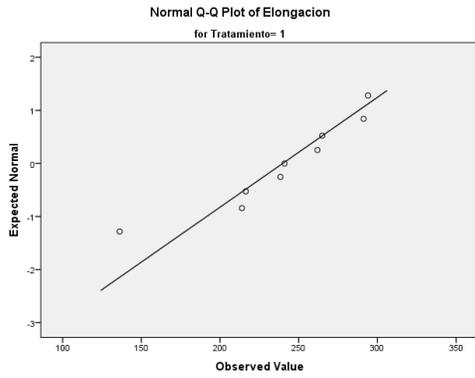
\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

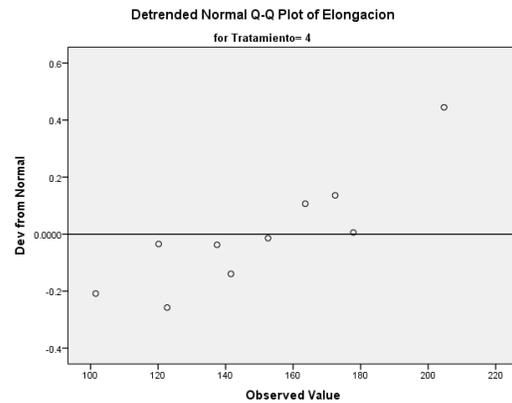
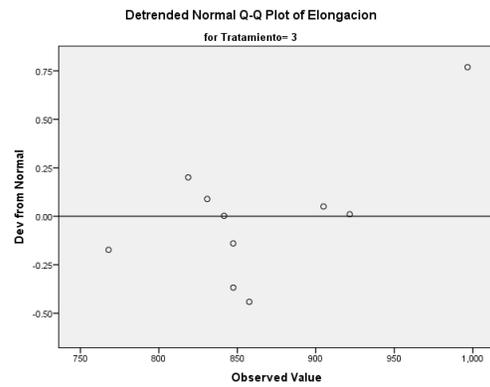
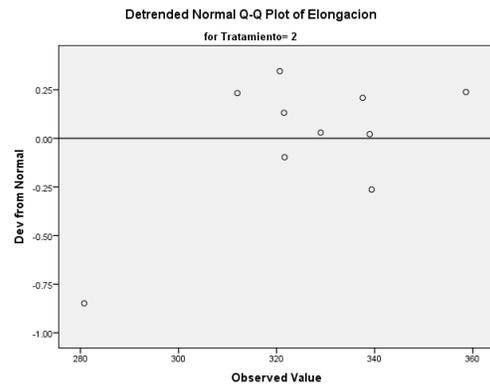
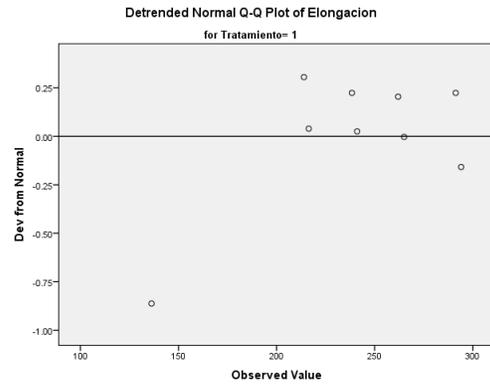
# Histograms



## Normal Q-Q Plots



## Detrended Normal Q-Q Plots





### Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The medians of V2 are the same across categories of V1.	Independent-Samples Median Test	.000 <sup>1,2</sup>	Reject the null hypothesis.
2	The distribution of V2 is the same across categories of V1.	Independent-Samples Kolmogorov-Smirnov Test	.000	Reject the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is .05.

<sup>1</sup>Exact significance is displayed for this test.

<sup>2</sup>Fisher Exact Sig.

### Resistencia 1-2

#### Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The medians of V2 are the same across categories of V1.	Independent-Samples Median Test	.000 <sup>1,2</sup>	Reject the null hypothesis.
2	The distribution of V2 is the same across categories of V1.	Independent-Samples Kolmogorov-Smirnov Test	.000	Reject the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is .05.

<sup>1</sup>Exact significance is displayed for this test.

<sup>2</sup>Fisher Exact Sig.

### Resistencia 1-3

#### Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The medians of V2 are the same across categories of V1.	Independent-Samples Median Test	.000 <sup>2</sup>	Reject the null hypothesis.
2	The distribution of V2 is the same across categories of V1.	Independent-Samples Kolmogorov-Smirnov Test	.000	Reject the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is .05.

<sup>1</sup>Exact significance is displayed for this test.

<sup>2</sup>Fisher Exact Sig.

### Resistencia 1-4

#### Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The medians of V2 are the same across categories of V1.	Independent-Samples Median Test	.001 <sup>2</sup>	Reject the null hypothesis.
2	The distribution of V2 is the same across categories of V1.	Independent-Samples Kolmogorov-Smirnov Test	.001	Reject the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is .05.

<sup>1</sup>Exact significance is displayed for this test.

<sup>2</sup>Fisher Exact Sig.

### Resistencia 2-3

#### Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The medians of V2 are the same across categories of V1.	Independent-Samples Median Test	.000 <sup>1,2</sup>	Reject the null hypothesis.
2	The distribution of V2 is the same across categories of V1.	Independent-Samples Kolmogorov-Smirnov Test	.000	Reject the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is .05.

<sup>1</sup>Exact significance is displayed for this test.

<sup>2</sup>Fisher Exact Sig.

### Resistencia 2-4

#### Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The medians of V2 are the same across categories of V1.	Independent-Samples Median Test	.170 <sup>1,2</sup>	Retain the null hypothesis.
2	The distribution of V2 is the same across categories of V1.	Independent-Samples Kolmogorov-Smirnov Test	.055	Retain the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is .05.

<sup>1</sup>Exact significance is displayed for this test.

<sup>2</sup>Fisher Exact Sig.

### Resistencia 3-4

#### Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The medians of V2 are the same across categories of V1.	Independent-Samples Median Test	.015 <sup>1,2</sup>	Reject the null hypothesis.
2	The distribution of V2 is the same across categories of V1.	Independent-Samples Kolmogorov-Smirnov Test	.007	Reject the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is .05.

<sup>1</sup>Exact significance is displayed for this test.

<sup>2</sup>Fisher Exact Sig.

### 9.1.4 Análisis de laboratorio de las muestras, POLIUNA

	<b>Laboratorio de Polímeros, POLIUNA</b> Escuela de Química, Universidad Nacional Apdo.- 86-3000 Heredia, Costa Rica Telefax. (506) 2277-3557; Email: poliuna@una.ac.cr	Fecha de emisión: <b>30/01/2009</b>	Versión: 02 POLI LAB P02 F01
		<b>Informe de Ensayo</b>	

INFORME DE ENSAYO No.:	016-12
FECHA DE EMISIÓN DE ESTE INFORME:	21/08/12
CLIENTE: Instituto Tecnológico de Costa Rica	REPRESENTANTE DEL CLIENTE: Mary Luz Barrientos Hernández

**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:**

M041-12: Suministrado por el cliente en forma de probetas de material plástico negro, para ensayos de elongación, flexión y para impacto al péndulo (modo IZOD)

**ENSAYOS Y RESULTADOS**

**Determinación de la resistencia en elongación**

Muestra	Módulo elástico (MPa)	Resistencia máxima (MPa)	Deformación a la ruptura (%)
M041-12	237 ± 46	10,5 ± 1,2	142 ± 114

**Determinación de la resistencia en flexión**

Muestra	Módulo elástico (MPa)	Tensión en flexión al 5% de deformación (MPa)
M041-12	229 ± 28	8,3 ± 0,8

**Calorimetría diferencial de barrido (DSC)**

Muestra	Temperatura de fusión (°C ± 0,001)	Calor de fusión (J/g ± 0,001)
M041-12 (primera corrida)	124,880 ✓	75,289 ✓
M041-12 (segunda corrida)	110,271	18,070 ✓
	124,089	11,811 ✓

	<b>Laboratorio de Polímeros, POLIUNA</b> Escuela de Química, Universidad Nacional Apdo.- 86-3000 Heredia, Costa Rica Telefax. (506) 2277-3557; Email: poliuna@una.ac.cr	Fecha de emisión:	Versión:
		30/01/2009	02 POLI LAB P02 F01
<b>Informe de Ensayo</b>			Página .

#### Análisis termogravimétrico (TGA)

MUESTRA	Temp. 1 (°C± 0,01)	Temp. 2* (°C± 0,01)	Temp. 3 (°C± 0,01)	Residuo (%± 0,001)
M041-12	394,36	480,58	503,42	2,730

\* Temp. 2 es obtenida de la primera derivada del termograma

#### Resistencia al impacto de péndulo modo IZOD

MUESTRA	Grosor promedio (mm)	Resistencia al impacto (J/m) (kJ/m <sup>2</sup> )	Tipo de fractura
M041-12	3.71 ± 0.32	258 ± 40 25,6 ± 3,9	NB: No hay rompimiento en 100 % de los especímenes

Se adjuntan las gráficas y tablas correspondientes

#### CONDICIONES DE LOS ANALISIS:

**Resistencia en elongación:** Se siguió el método ASTM D638M y D882. Se probaron alrededor de 10 especímenes del tipo IV de acuerdo a la norma. Las probetas se acondicionaron a  $23 \pm 2$  °C y  $50 \pm 5$  % de humedad relativa durante 48 horas previas al análisis. En este informe se reportan los promedios de los valores obtenidos. El aparato utilizado fue un analizador mecánico universal INSTRON 3365, con una celda de 5 kN. Se empleó una velocidad de aplicación del esfuerzo de 5 mm por minuto. La apertura inicial entre las prensas de la máquina fue de 100 mm.

**Resistencia en flexión:** Se siguió el método ASTM D790. Se probaron alrededor de 10 especímenes de perfil rectangular con dimensiones promedio (en mm) de 80x12x4. Las probetas se acondicionaron a  $23 \pm 2$  °C y  $50 \pm 5$  % de humedad relativa durante 48 horas previas al análisis. En este informe se reportan los promedios de los valores obtenidos. El aparato utilizado fue un analizador mecánico universal INSTRON 3365, con una celda de 5 kN. Se empleó una configuración de flexión en tres puntos, con una distancia de soportes de 50 mm y una velocidad de aplicación del esfuerzo en el punto medio de la probeta de 1,3 mm por minuto.

**Calorimetría de barrido diferencial, DSC:** Se utilizó un aparato DSC6 de Perkin Elmer, siguiendo el método ASTM 3417. La muestra se obtuvo directamente del material suministrado y fue colocado en cápsula de aluminio sellada. El ámbito de la temperatura de análisis utilizado fue de 50°C a 140°C, en atmósfera de nitrógeno, con un flujo de 20 mL por minuto y un programa de temperatura de 10°C por minuto. Se hizo una primera corrida, luego de la cual el material se enfrió y subsecuentemente se hizo una segunda corrida, ambas con el mismo rango de temperatura y misma velocidad de calentamiento.

	<b>Laboratorio de Polímeros, POLIUNA</b> Escuela de Química, Universidad Nacional Apdo.- 86-3000 Heredia, Costa Rica Telefax: (506) 2277-3557; Email: poliuna@una.ac.cr	Fecha de emisión: <b>30/01/2009</b>	Versión: 02 POLI LAB P02 F01
	<b>Informe de Ensayo</b>		Página

**Análisis termogravimétrico, TGA:** Se empleó un analizador termogravimétrico de la marca TA Instruments, modelo Q500, con una rampa de calentamiento de 20 °C/min desde 50 hasta los 600 °C y bajo un flujo de nitrógeno en la balanza de 40 mL/min y de 60 mL/min en la muestra. Se obtuvieron gráficas de pérdida de peso y de variación del peso (primera derivada) versus temperatura y se estimaron las temperaturas de máxima velocidad de descomposición térmica y el porcentaje de residuo presente en cada muestra.

**Resistencia al impacto de péndulo IZOD:** Se utilizó un analizador de péndulo de la marca CSI modelo CSI-137 y se siguió la norma ASTM D 256, método A correspondiente al ensayo IZOD. Las probetas en forma de vigueta (72x12) mm, con una muesca según las indicaciones del método, se acondicionaron por 48 horas a 23°C y 50% de humedad previo al análisis. En total se analizaron 10 especímenes de cada muestra y se determinó el promedio de resistencia al impacto tanto en J/m (normalizado por grosor) como en kJ/m<sup>2</sup> (normalizado por grosor y hondura bajo la muesca). Se utilizó un péndulo con una capacidad de 2,7 J y una longitud de 42 cm.

AUTORIZA ESTE INFORME DE ENSAYO:

  
 Dr. Guillermo A. Jiménez Villalta  
 Coordinador Técnico



**ADVERTENCIA:**

- 1-Los resultados de este análisis se refieren solamente a las muestras analizadas.
- 2-Para reproducir este análisis es necesario el permiso del POLIUNA. Cuando así se haga debe reproducirse íntegramente.

9/13/2012 10:06:23 AM

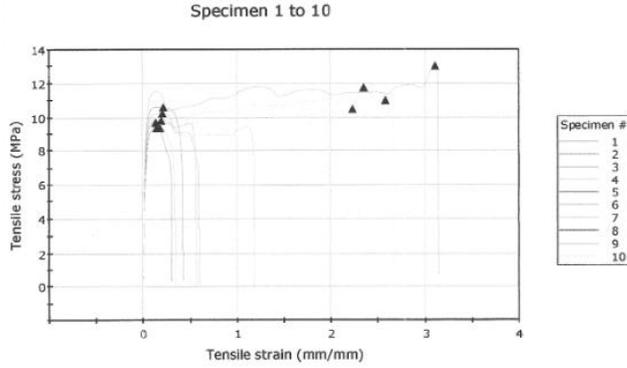


M041-12\_is\_tens

Picture  
Picture placeholder

LABORATORIO DE POLIMEROS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL

Graph 1



Sample description  
PLASTICOS RIGIDOS

Results Table 1

	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Modulus (Automatic) (MPa)	Tensile strain at Break (Standard) (%)
1	9.822	18.83	213.70	61.46644
2	10.239	20.25	238.41	56.50160
3	9.347	17.92	213.92	34.72121
4	11.750	234.08	216.40	268.63699
5	10.619	21.08	291.30	42.95951
6	9.706	13.08	261.95	118.58321
7	10.507	222.25	136.25	231.08349
8	9.351	14.00	241.06	31.08367
9	13.030	310.08	294.09	315.27996
10	11.013	257.25	265.00	252.50069
Promedio	10.538	112.88	237.21	142.28168
Desviación Estandar	1.156	125.162	46.288	113.765

	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)
1	0.26621

8/13/2012 10:06:23 AM



M041-12\_is\_tens

	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)
5	0.47161
6	0.27238
7	0.48204
8	0.41652
9	0.81459
10	0.39881
Promedio	0.67770
Desviación Estandar	0.72646

### Laboratorio de polimeros

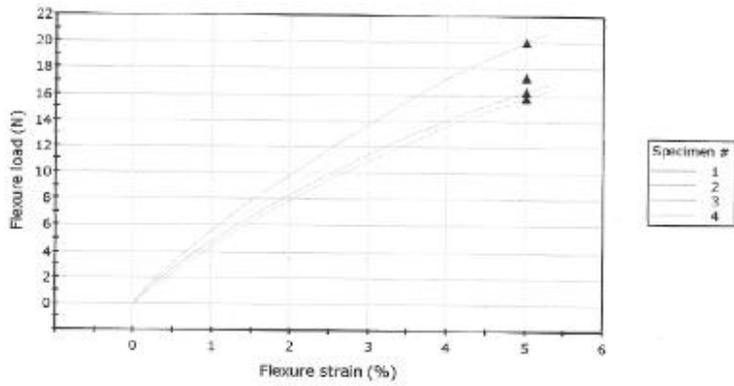
Defaults Table

Rate 1  
No de lote

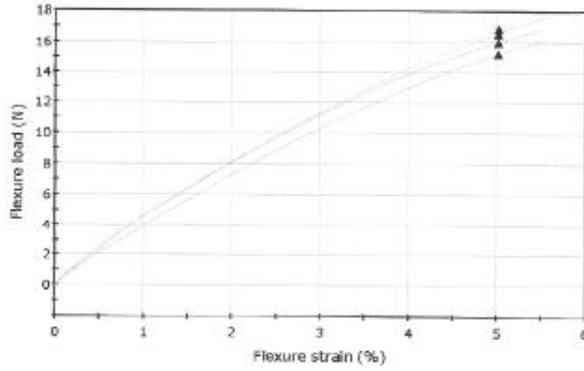
1.30000 mm/min

Graph 1

#### Specimen 1 to 4



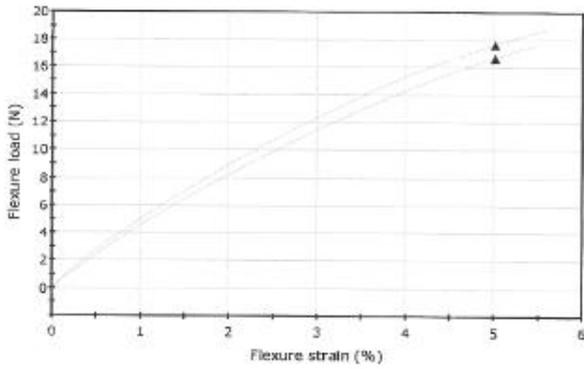
Specimen 5 to 8



Specimen #
5
6
7
8



Specimen 9 to 10



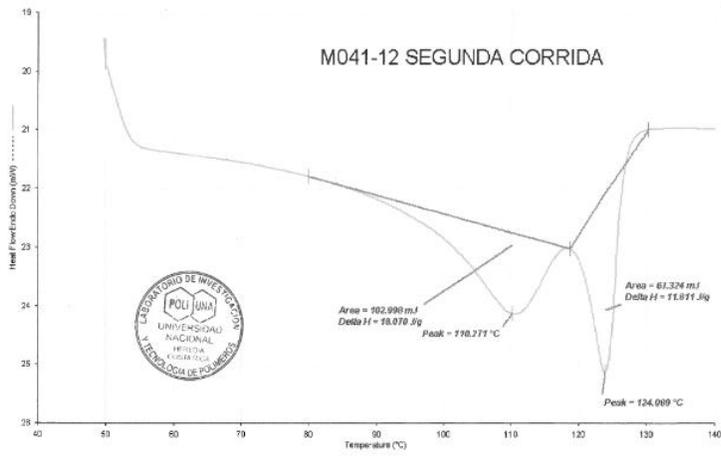
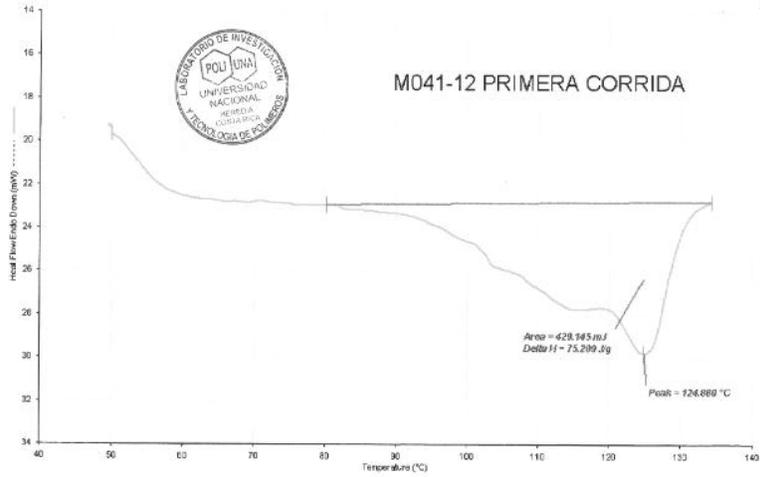
Specimen #
9
10

Results Table 1

	Flexure stress at Preset Point (Flexure strain 5 %) (MPa)	Modulus (Automatic) (MPa)
1	8.4	243.58002

	Flexure stress at Preset Point (Flexure strain 5 %) (MPa)	Modulus (Automatic) (MPa)
2	7.7	207.96608
3	6.6	162.15023
4	9.1	251.86252
5	8.7	242.48585
6	8.1	260.87737
7	8.3	221.42905
8	9.3	267.12669
9	7.9	212.63547
10	9.3	255.32773
Mean	8.3	228.56410
Standard Deviation	0.84733	27.56155

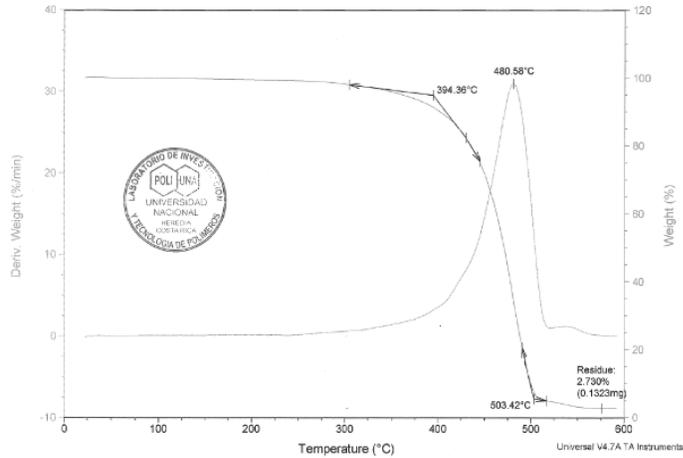




Sample: M041-12  
Size: 4.8470 mg

TGA

File: C:\...VTCRW041-12.001  
Operator: K. Ramirez  
Run Date: 13-Aug-2012 09:19  
Instrument: TGA Q500 V20.10 Build 36



	<b>Laboratorio de Polímeros, POLIUNA</b> Escuela de Química, Universidad Nacional Apdo. - 86-3000 Heredia, Costa Rica Telefax. (506) 2277-3557; Email: poliuna@una.ac.cr	Fecha de emisión:	Versión:
		30/01/2009	02 POLI LAB P02 F01
<b>Informe de Ensayo</b>			Página :

INFORME DE ENSAYO No.:	002-13
FECHA DE EMISIÓN DE ESTE INFORME:	08/02/13
CLIENTE: Instituto Tecnológico de Costa Rica	REPRESENTANTE DEL CLIENTE: Mary Luz Barrientos Hernández

**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:**

M002-13: Suministrado por el cliente en forma de probetas de material plástico azul, para ensayos de elongación, flexión y para impacto al péndulo (modo IZOD)

M003-13: Suministrado por el cliente en forma de probetas de material plástico verde, para ensayos de elongación, flexión y para impacto al péndulo (modo IZOD)

M004-13: Suministrado por el cliente en forma de probetas de material plástico café multicolor, para ensayos de elongación, flexión y para impacto al péndulo (modo IZOD)

**ENSAYOS Y RESULTADOS**

**Determinación de la resistencia en elongación**

Muestra	Módulo elástico (MPa)	Resistencia máxima (MPa)	Deformación a la ruptura (%)
M002-13	326 ± 21	10,4 ± 0,8	17,1 ± 5,4
M003-13	863 ± 63	15,8 ± 2,5	4,2 ± 0,9
M004-13	149 ± 31	4,0 ± 0,7	24,7 ± 2,9

**Determinación de la resistencia en flexión**

Muestra	Módulo elástico (MPa)	Tensión en flexión al 5% de deformación (MPa)
M002-13	396 ± 17	13,0 ± 0,4
M003-13	784 ± 103	26,1 ± 2,8
M004-13	120 ± 26	4,2 ± 0,8

	<b>Laboratorio de Polímeros, POLIUNA</b> Escuela de Química, Universidad Nacional Apdo.- 86-3000 Heredia, Costa Rica Telefax. (506) 2277-3557; Email: poliuna@una.ac.cr	Fecha de emisión:	Versión:
		30/01/2009	02 POLI LAB P02 F01
<b>Informe de Ensayo</b>			Página:

#### Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Muestra	Temperatura de fusión (°C± 0,001)	Temperatura de fusión (°C± 0,001)
M002-13 (primera corrida)	111,801	126,218
M002-13 (segunda corrida)	111,442	125,743
M003-13 (primera corrida)	*****	130,929
M003-13 (segunda corrida)	*****	131,757
M004-13 (primera corrida)	112,973	123,608
M004-13 (segunda corrida)	112,967	122,896

#### Análisis termogravimétrico (TGA)

MUESTRA	Temp. 1 (°C± 0,01)	Temp. 2* (°C± 0,01)	Temp. 3* (°C± 0,01)	Temp. 4 (°C± 0,01)	Residuo (%± 0,001)
M002-13	380,85	420,14	501,38	516,90	1,151
M003-13	428,59	465,36	497,62	512,88	1,995
M004-13	455,24	*****	507,78	521,02	2,326

\* Temp. 2 y 3 son obtenidas de la primera derivada del termograma

	<b>Laboratorio de Polímeros, POLIUNA</b> Escuela de Química, Universidad Nacional Apdo - 86-3000 Heredia, Costa Rica Telefax. (506) 2277-3557; Email: poliuna@una.ac.cr	Fecha de emisión:	Versión:
		30/01/2009	02 POLI LAB P02 F01
<b>Informe de Ensayo</b>			Página:

**Resistencia al impacto de péndulo modo IZOD**

MUESTRA	Grosor promedio (mm)	Resistencia al impacto (J/m) (kJ/m <sup>2</sup> )	Tipo de fractura
M002-13	4,5 ± 0,5	83,82 ± 20,74 8,48 ± 2,12	QB: 100 % de los especímenes
M003-13	5,0 ± 0,5	22,74 ± 15,56 2,45 ± 1,76	QC: 37,5 % de los especímenes
		16,39 ± 5,20 1,75 ± 0,57	QB: 62,5 % de los especímenes
M004-13	4,5 ± 0,7	141,72 ± 129,84	NQ: 50,0 % de los especímenes
		15,72 ± 14,46	
		129,98 ± 39,30 14,27 ± 4,66	QP: 50,0 % de los especímenes

QB: Quebradura tipo bisagra, en donde una parte queda unida a la otra por una pequeña porción de material  
 QC: Quebradura completa  
 QP: Quebradura parcial  
 NQ: No hay quebradura

Se adjuntan las gráficas y tablas correspondientes

**CONDICIONES DE LOS ANÁLISIS:**

**Resistencia en elongación:** Se siguió el método ASTM D638M y D882. Se probaron alrededor de 10 especímenes del tipo IV de acuerdo a la norma. Las probetas se acondicionaron a 23 ± 2 °C y 50 ± 5 % de humedad relativa durante 48 horas previas al análisis. En este informe se reportan los promedios de los valores obtenidos. El aparato utilizado fue un analizador mecánico universal INSTRON 3365, con una celda de 5 kN. Se empleó una velocidad de aplicación del esfuerzo de 5 mm por minuto. La apertura inicial entre las prensas de la máquina fue de 100 mm.

**Resistencia en flexión:** Se siguió el método ASTM D790. Se probaron alrededor de 10 especímenes de perfil rectangular con dimensiones promedio (en mm) de 80x12x4. Las probetas se acondicionaron a 23 ± 2 °C y 50 ± 5 % de humedad relativa durante 48 horas previas al análisis. En este informe se reportan los promedios de los valores obtenidos. El aparato utilizado fue un analizador mecánico universal INSTRON 3365, con una celda de 5 kN. Se empleó una configuración de flexión en tres puntos, con una distancia de soportes de 50 mm y una velocidad de aplicación del esfuerzo en el punto medio de la probeta de 1,3 mm por minuto.

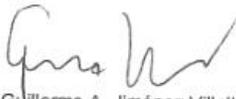
**Calorimetría de barrido diferencial, DSC:** Se utilizó un aparato DSC6 de Perkin Elmer, siguiendo el método ASTM 3417. La muestra se obtuvo directamente del material suministrado y fue colocado en cápsula de aluminio sellada. El ámbito de la temperatura de análisis utilizado fue de 50°C a 160°C, en atmósfera de nitrógeno, con un flujo de 20 mL por minuto y un programa de temperatura de 10°C por minuto. Se hizo una primera corrida, luego de la cual el material se enfrió y subsecuentemente se hizo una segunda corrida, ambas con el mismo rango de temperatura y misma velocidad de calentamiento.

	<b>Laboratorio de Polímeros, POLIUNA</b> Escuela de Química, Universidad Nacional Apdo.- 86-3000 Heredia, Costa Rica Telefax. (506) 2277-3557; Email: poliuna@una.ac.cr	Fecha de emisión:	Versión:
		30/01/2009	02 POLI LAB P02 P01
<b>Informe de Ensayo</b>			Página:

**Análisis termogravimétrico, TGA:** Se empleó un analizador termogravimétrico de la marca TA Instruments, modelo Q500, con una rampa de calentamiento de 20 °C/min desde 50 hasta los 600 °C y bajo un flujo de nitrógeno en la balanza de 40 mL/min y de 60 mL/min en la muestra. Se obtuvieron gráficas de pérdida de peso y de variación del peso (primera derivada) versus temperatura y se estimaron las temperaturas de máxima velocidad de descomposición térmica y el porcentaje de residuo presente en cada muestra.

**Resistencia al impacto de péndulo IZOD:** Se utilizó un analizador de péndulo de la marca CSI modelo CSI-137 y se siguió la norma ASTM D 256, método A correspondiente al ensayo IZOD. Las probetas en forma de vigueta (72x14) mm, con una muesca según las indicaciones del método, se acondicionaron por 48 horas a 23°C y 50% de humedad previo al análisis. En total se analizaron entre 8 y 10 especímenes de cada muestra y se determinó el promedio de resistencia al impacto tanto en J/m (normalizado por grosor) como en kJ/m<sup>2</sup> (normalizado por grosor y hondura bajo la muesca). Se utilizó un péndulo con una capacidad de 2,7 J y una longitud de 42 cm.

AUTORIZA ESTE INFORME DE ENSAYO:

  
 Dr. Guillermo A. Jiménez Villalta  
 Coordinador Técnico



**ADVERTENCIA:**

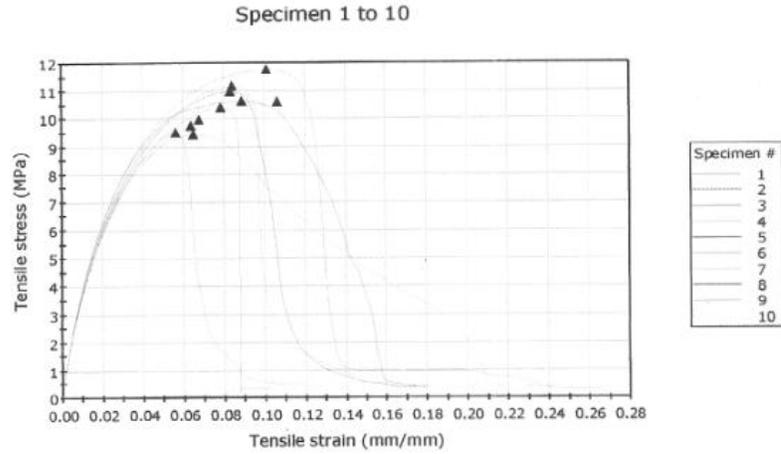
- 1-Los resultados de este análisis se refieren solamente a las muestras analizadas.
- 2-Para reproducir este análisis es necesario el permiso del POLIUNA. Cuando así se haga debe reproducirse íntegramente.



Picture  
Picture placeholder

LABORATORIO DE POLIMEROS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL

Graph 1



Sample description  
PLASTICOS RIGIDOS

Results Table 1

	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Modulus (Automatic) (MPa)	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Specimen label
1	11.766	312.01	26.55061	1
2	10.395	321.51	10.32990	2
3	11.188	321.63	15.05123	3
4	10.602	280.76	16.55072	4
5	10.623	328.99	17.97430	5
6	9.456	339.38	24.59560	6
7	9.972	338.99	18.80596	7
8	10.979	320.65	17.84643	8
9	9.515	358.62	11.93183	9
10	9.757	337.56	11.16646	10
Promedio	10.425	326.01	17.08030	
Desviacion	0.759	20.724	5.395	

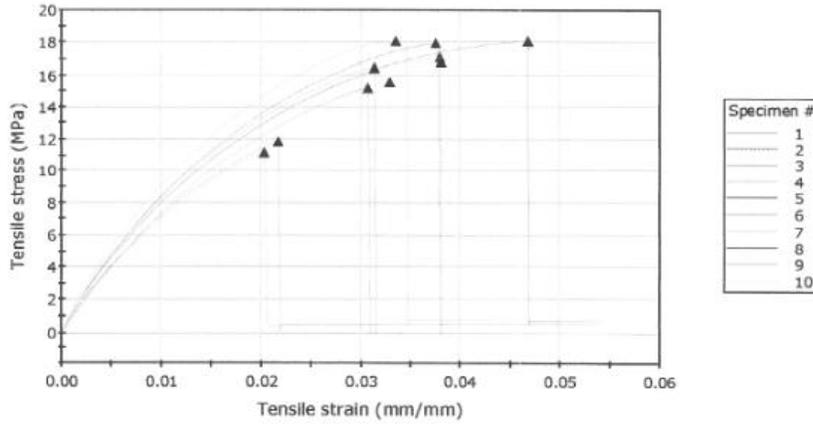


Picture  
Picture placeholder

LABORATORIO DE POLIMEROS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL

Graph 1

Specimen 1 to 10



Sample description  
PLASTICOS RIGIDOS

Results Table 1

	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Modulus (Automatic) (MPa)	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Specimen label
1	16.460	921.63	3.14102	1
2	11.894	847.34	5.36537	2
3	11.182	841.51	3.30030	3
4	17.116	857.57	4.64142	4
5	18.109	818.64	5.40624	5
6	18.089	996.68	4.34210	6
7	15.564	767.91	3.90765	7
8	17.960	904.91	3.80231	8
9	15.192	830.79	3.09761	9
10	16.818	847.39	4.74349	10
Promedio	15.838	863.44	4.17475	
Desviacion Estandar	2.482	63.325	0.863	

2/4/2013 4:15:58 PM



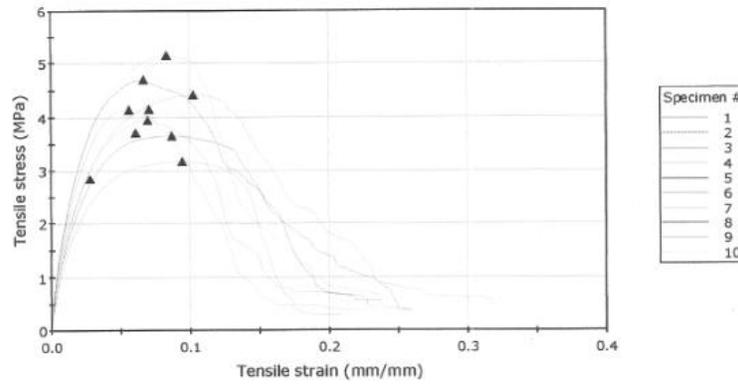
M004-13.is\_tens

Picture  
Picture placeholder

LABORATORIO DE POLIMEROS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL

Graph 1

Specimen 1 to 10



Sample description  
PLASTICOS RIGIDOS

Results Table 1

	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Modulus (Automatic) (MPa)	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Specimen label
1	4.413	122.69	31.86150	1
2	3.179	101.54	20.76913	2
3	5.154	163.60	23.65875	3
4	2.860	204.73	23.32078	4
5	3.654	120.18	25.98721	5
6	3.948	141.59	24.97938	6
7	4.152	152.57	23.94847	7
8	4.698	177.85	23.80771	8
9	4.144	172.46	25.85880	9
10	3.716	137.47	22.58901	10
Promedio	3.992	149.47	24.69808	
Desviacion Estandar	0.684	31.047	2.949	

Laboratorio de polimeros

Defaults Table

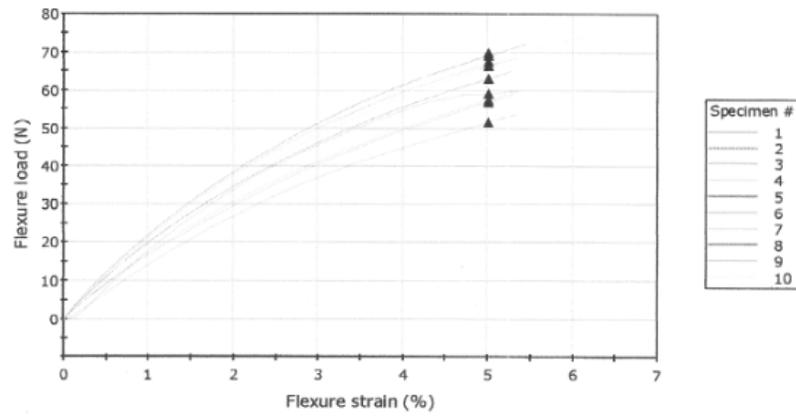
Rate 1

1.30000 mm/min

No de lote

Graph 1

Specimen 1 to 10



Results Table 1

	Flexure stress at Preset Point (Flexure strain 5 %) (MPa)	Modulus (Automatic) (MPa)
1	12.9	369.33552
2	12.3	425.99943
3	13.3	393.19065
4	13.0	382.86645
5	12.9	401.76929
6	12.5	399.85036
7	13.4	397.21013
8	13.1	408.83357
9	12.8	372.55273
10	13.6	407.86645
Mean	13.0	395.94746
Standard Deviation	0.40676	17.30824

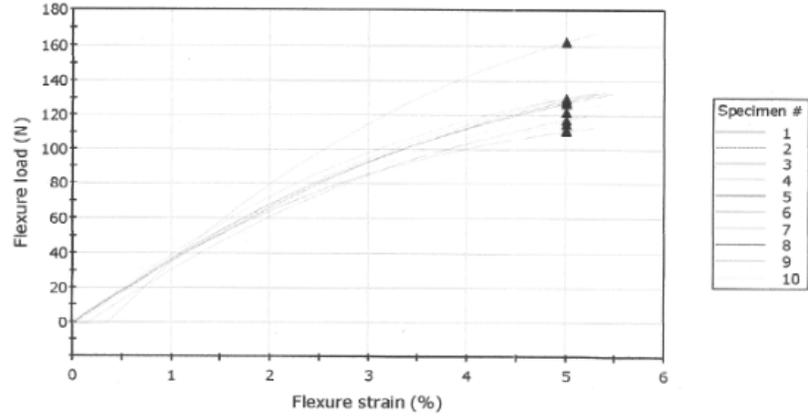




LABORATORIO DE POLIMEROS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL

Graph 1

Specimen 1 to 10

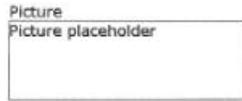


Sample description

Results Table 1

	Flexure stress at Preset Point (Flexure strain 5 %) (MPa)	Modulus (Automatic) (MPa)
1	25.0	811.97002
2	26.0	780.09012
3	28.0	795.09972
4	24.4	686.57724
5	27.5	767.40157
6	30.9	955.24965
7	21.9	658.53550
8	24.1	684.84799
9	29.5	955.28300
10	24.3	748.84687
Mean	26.1	784.39017
Standard Deviation	2.77565	103.36478

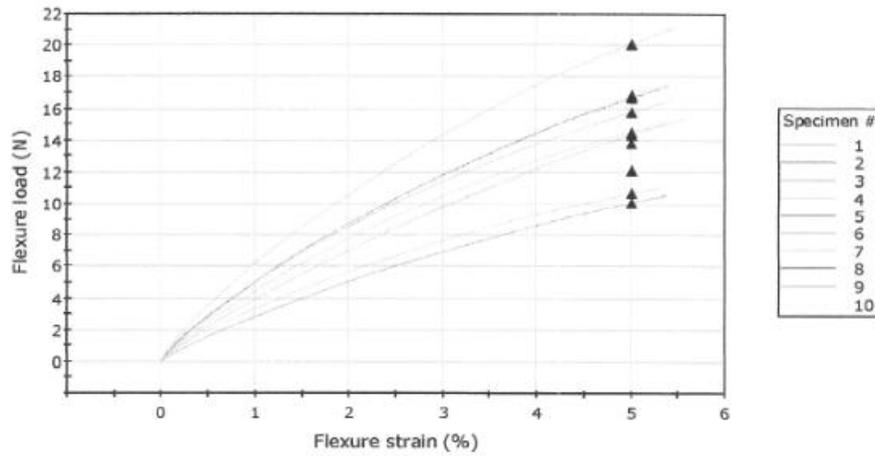




LABORATORIO DE POLIMEROS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL

Graph 1

Specimen 1 to 10



Sample description

Results Table 1

	Flexure stress at Preset Point (Flexure strain 5%) (MPa)	Modulus (Automatic) (MPa)
1	3.6	93.26327
2	5.7	164.87093
3	4.7	137.28808
4	4.0	108.86013
5	3.5	94.50709
6	3.3	96.51847
7	3.6	104.63500
8	5.6	158.68169
9	4.0	121.53017
10	4.3	115.05075
Mean	4.2	119.52056
Standard Deviation	0.83949	26.05420



# ITCR

## Test Report (Izod Impact Test)

Data File: M041-12  
Test Date: 08-20-2012  
Test Time: 09:59:08  
Operator: GJimenez/L.Jimenez  
Test Method: ASTM D256A (or C, D, E)  
Test Temperature (°C): 24      Test Humidity (%): 50

### Sample Identification

Material Description: Probetas plásticas negras con muesca  
Type/Source:  
Code No.:  
Principal Dimensions: 72x12  
History:



Pendulum Capacity (J): 2,00 2,7  
Pendulum Period (sec): 1,000  
Pendulum Length (m): 0,000 0,42

### Pre-Test Comments:

Sample No.	Thickness (mm)	Depth Under Notch (mm)	Break Type	Impact Resistance (J/m) - (kJ/m <sup>2</sup> )
1	4,190	10,010	NB	264,184 - 26,392
2	4,170	10,130	NB	249,152 - 24,595
3	4,080	10,070	NB	235,693 - 23,405
4	3,460	10,150	NB	212,321 - 20,918
5	3,730	10,090	NB	345,909 - 34,282
6	3,430	9,970	NB	209,322 - 20,995
7	3,710	10,090	NB	285,066 - 28,252
8	3,470	10,100	NB	264,071 - 26,146
9	3,380	10,270	NB	241,811 - 23,545
10	3,480	10,120	NB	274,720 - 27,146

Break Type	No. of Samples	Percent of Total (%)	Av. Impact Resistance (J/m) - (kJ/m <sup>2</sup> )	Standard Deviation (J/m) - (kJ/m <sup>2</sup> )
NB	10	100,0	258,22 - 25,57	39,59 - 3,93

### Post-Test Comments:

# ITCR

## Test Report (Izod Impact Test)

Data File: M002-13  
Test Date: 02-07-2013  
Test Time: 14:21:36  
Operator: GL Jimenez  
Test Method: ASTM D256A (or C, D, E)  
Test Temperature (°C): 24      Test Humidity (%): 50

Sample Identification  
Material Description: Probetas plásticas azules con muesca  
Type/Source:  
Code No.:  
Principal Dimensions: 72x14  
History:

Pendulum Capacity (J): 2,00  
Pendulum Period (sec): 1,000  
Pendulum Length (m): 0,000

Pre-Test Comments:

Sample No.	Thickness (mm)	Depth Under Notch (mm)	Break Type	Impact Resistance (J/m) - (kJ/m <sup>2</sup> )
1	5,000	10,000	H	79,196 - 7,920
2	4,680	10,000	H	59,092 - 5,909
3	4,230	10,000	H	99,542 - 9,954
4	5,000	10,000	H	53,965 - 5,396
5	4,000	10,000	H	65,480 - 6,548
6	4,750	10,000	H	118,882 - 11,888
7	4,000	9,000	H	87,917 - 9,769
8	4,000	10,000	H	104,613 - 10,461
9	4,000	10,000	H	91,249 - 9,125
10	5,000	10,000	H	78,223 - 7,822

Break Type	No. of Samples	Percent of Total (%)	Av. Impact Resistance (J/m) - (kJ/m <sup>2</sup> )	Standard Deviation (J/m) - (kJ/m <sup>2</sup> )
H	10	100,0	83,82 - 8,48	20,74 - 2,12

Post-Test Comments:

# ITCR

## Test Report (Izod Impact Test)

Data File: M003-13  
Test Date: 02-07-2013  
Test Time: 14:09:01  
Operator: GL Jimenez  
Test Method: ASTM D256A (or C, D, E)  
Test Temperature (°C): 24      Test Humidity (%): 50

### Sample Identification

Material Description: Probetas plásticas verdes con muesca  
Type/Source:  
Code No.:  
Principal Dimensions: 72x14  
History:

Pendulum Capacity (J): 2,00  
Pendulum Period (sec): 1,000  
Pendulum Length (m): 0,000

### Pre-Test Comments:

Sample No.	Thickness (mm)	Depth Under Notch (mm)	Break Type	Impact Resistance (J/m) - (kJ/m <sup>2</sup> )
1	5,000	9,000	C	9,025 - 1,003
2	5,000	9,000	H	21,277 - 2,364
3	5,000	10,000	C	19,536 - 1,954
4	4,000	9,000	C	39,650 - 4,406
5	5,000	9,000	H	18,610 - 2,068
6	5,680	10,000	H	11,775 - 1,178
7	5,000	9,000	H	9,894 - 1,099
8	5,000	10,000	H	20,396 - 2,040

Break Type	No. of Samples	Percent of Total (%)	Av. Impact Resistance (J/m) - (kJ/m <sup>2</sup> )	Standard Deviation (J/m) - (kJ/m <sup>2</sup> )
C	3	37,5	22,74 - 2,45	15,56 - 1,76
H	5	62,5	16,39 - 1,75	5,20 - 0,57

### Post-Test Comments:

# ITCR

## Test Report (Izod Impact Test)

Data File: M004-13  
Test Date: 02-07-2013  
Test Time: 14:33:54  
Operator: GLJimenez  
Test Method: ASTM D256A (or C, D, E)  
Test Temperature (°C): 24      Test Humidity (%): 50

### Sample Identification

Material Description: Probetas plásticas multicolor con muesca  
Type/Source:  
Code No.:  
Principal Dimensions: 72x14  
History:

Pendulum Capacity (J): 2,00  
Pendulum Period (sec): 1,000  
Pendulum Length (m): 0,000

### Pre-Test Comments:

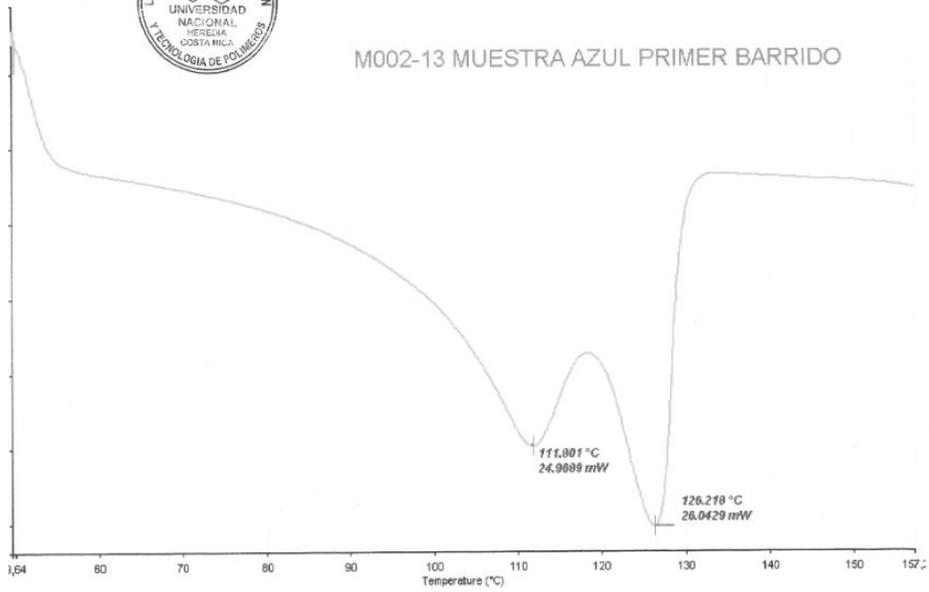
Sample No.	Thickness (mm)	Depth Under Notch (mm)	Break Type	Impact Resistance (J/m) - (kJ/m <sup>2</sup> )
1	4,000	9,000	NB	169,854 - 18,873
2	5,000	9,000	P	110,346 - 12,261
3	5,000	9,000	P	141,520 - 15,724
4	3,000	9,000	P	183,469 - 20,385
5	5,000	10,000	P	77,554 - 7,755
6	5,000	10,000	NB	13,368 - 1,337
7	5,000	9,000	NB	163,362 - 18,151
8	4,000	9,000	NB	333,678 - 37,075
9	4,000	9,000	NB	28,351 - 3,150
10	5,000	9,000	P	137,011 - 15,223

Break Type	No. of Samples	Percent of Total (%)	Av. Impact Resistance (J/m) - (kJ/m <sup>2</sup> )	Standard Deviation (J/m) - (kJ/m <sup>2</sup> )
NB	5	50,0	141,72 - 15,72	129,84 - 14,46
P	5	50,0	129,98 - 14,27	39,30 - 4,66

### Post-Test Comments:

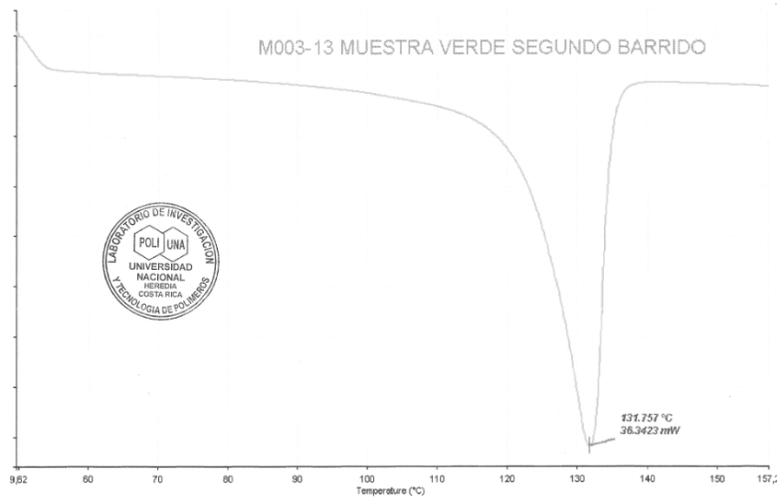
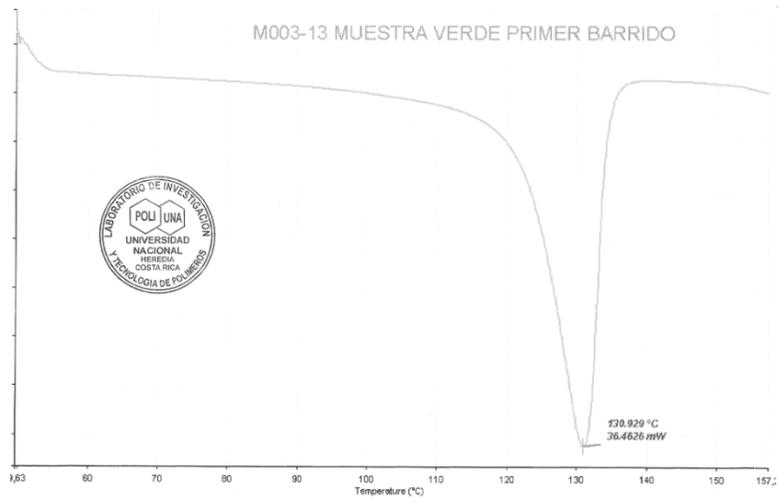


M002-13 MUESTRA AZUL PRIMER BARRIDO

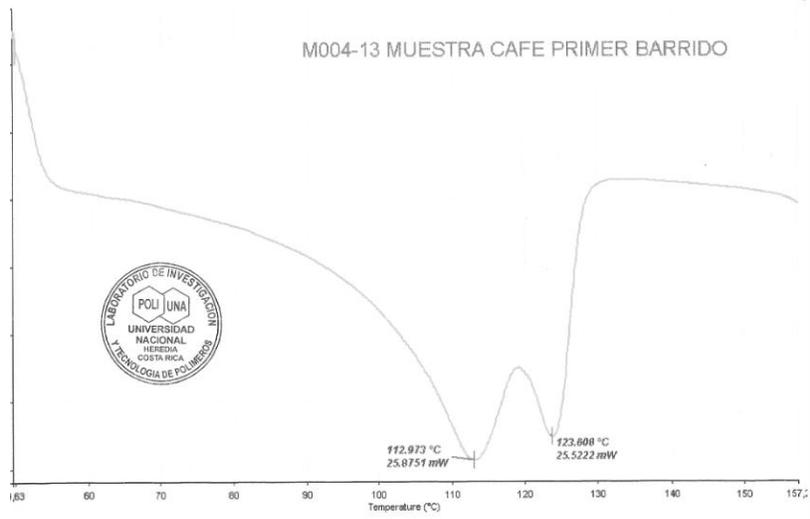


M002-13 MUESTRA AZUL SEGUNDO BARRIDO

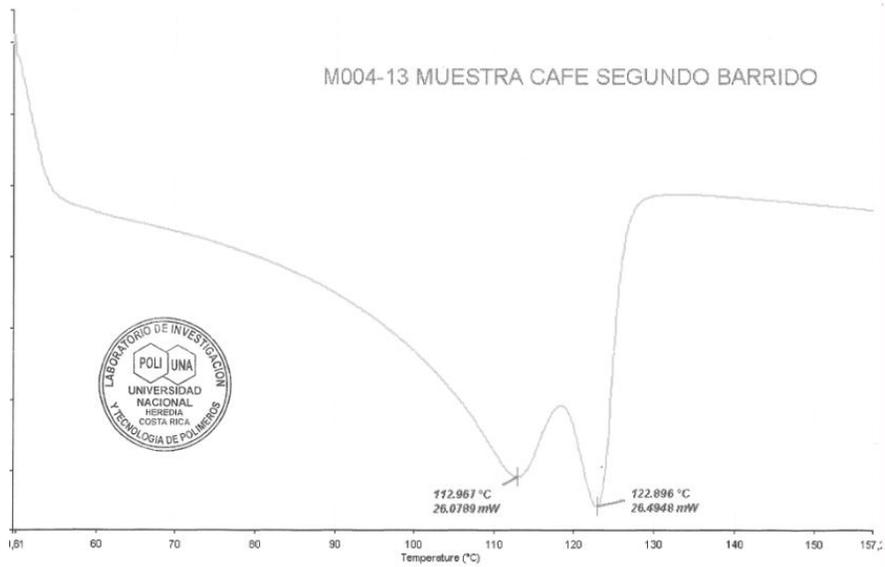




M004-13 MUESTRA CAFE PRIMER BARRIDO



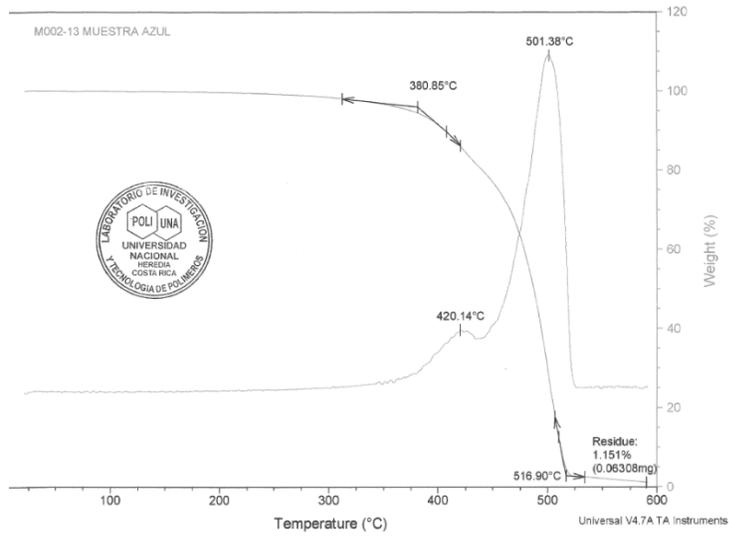
M004-13 MUESTRA CAFE SEGUNDO BARRIDO



M002-13  
30 mg  
muestra azul

### TGA

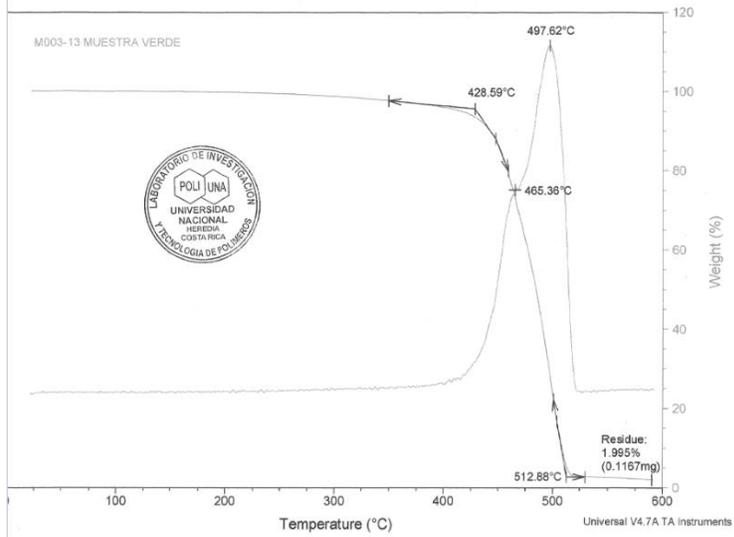
File: C:\...ITCR\2013\M002-13.001  
Operator: G.Jimenez  
Run Date: 06-Feb-2013 15:33  
Instrument: TGA Q500 V20.10 Build 36



M003-13  
190 mg  
Muestra verde

### TGA

File: C:\...ITCR\2013\M003-13.001  
Operator: Alejandro Aguilar  
Run Date: 06-Feb-2013 16:44  
Instrument: TGA Q500 V20.10 Build 36



M004-13  
560 mg

### TGA

File: C:\...ITCR\2013\M004-13.001  
Operator: Alejandro Aguilar  
Run Date: 06-Feb-2013 14:33  
Instrument: TGA Q500 V20.10 Build 36

Muestra café multicolor

