

# Reciclaje de PVC a partir de tarjetas de identificación plásticas para la obtención de un pegamento de tubería

Miguel Aldás, Fernando Inca

Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros CIAP.  
Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador  
miguel.aldas@epn.edu.ec

**Resumen**—El presente proyecto tuvo como objetivo reciclar el PVC proveniente de tarjetas plásticas de identificación caducadas y desechadas. Se obtuvo como producto final un pegamento de tuberías de PVC, denominado cemento solvente de PVC, el cual fue comparado con un cemento solvente comercial. El proceso consistió en: disolución de las tarjetas, separación de cargas, recuperación de solvente y obtención del producto. Se probaron dos tipos de solvente y se compararon las características de los productos obtenidos con cada uno de ellos. El cemento solvente de PVC se caracterizó mediante un análisis de volátiles y un ensayo de adhesión.

**Palabras claves**—; tarjetas plásticas de identificación, PVC, reciclaje, cemento solvente.

**Abstract**—The aim of this project was recycling PVC recovered from plastic expired and discarded ID cards. A PVC pipe glue, called PVC solvent cement, was obtained as product of the recycling process. In addition, this product was compared with a commercial solvent cement. The process involved in this project was dissolution of cards, filler separation, solvent recovery, and product obtaining. Two types of solvent were tested and the characteristics of these two types of products were compared. PVC solvent cement was characterized by volatile analysis and an adhesion test.

**Keywords**—; plastic ID cards, PVC, recycling, solvent cement.

## I. INTRODUCCIÓN

La producción anual mundial de plásticos referente al año 2012 se estimó en 288 millones de toneladas. De estas el 80% representa a los plásticos llamados commodities, es decir PE, PP, PS, PET, PU y PVC. El consumo mundial de PVC en 2011 fue de alrededor de 5 millones de toneladas [1]

Generalmente, el PVC está presente en un sinnúmero de aplicaciones tales como envases, botellas, perfiles, mangueras, tuberías y accesorios entre otras [2,3]. Entre estas aplicaciones se encuentran las tarjetas para identificación tales como carnets estudiantiles, tarjetas de identificación empresariales, y tarjetas bancarias. En el Ecuador, la producción nacional de tarjetas plásticas de crédito a octubre de 2011 se estimaba en el orden

de 22,13 millones, emitidas solamente por los Bancos Privados. En lo referente a las tarjetas emitidas por casas comerciales que son administradas y respaldadas por los bancos privados ecuatorianos era de aproximadamente 3 millones [4].

Con base en las cifras antes mencionadas y bajo la consideración de que este tipo de tarjetas se desechan con frecuencia, ya sea por caducidad o por desgaste de las mismas, se puede inferir que la cantidad de residuos de este tipo de material que se generan es considerable; la mayor parte de los cuales no tiene un tratamiento adecuado.

Lamentablemente, en el país no se cuenta con estudios que permitan reutilizar con mayor eficiencia este tipo de desechos y simplemente se los confina en los rellenos o se los dispone a un reciclaje común con varios tipos de plásticos, lo que genera deficiencias en el proceso de reciclaje y un producto reciclado con contaminantes e impurezas sin mayor aprovechamiento de los materiales plásticos.

En el presente proyecto se plantea una alternativa para el aprovechamiento de desechos post consumo, para la obtención de un cemento solvente de PVC como pegamento de tuberías.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Identificación de los componentes de las tarjetas

Las tarjetas recolectadas para ser recicladas fueron sometidas a un ensayo de espectroscopía de infrarrojo, mediante reflectancia total atenuada (ATR) desde los 4 000 a 600  $\text{cm}^{-1}$  en un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo SpectrumOne.

Además se realizó un ensayo de DSC (calorimetría diferencial de barrido) en un Calorímetro Netzsch DSC 204 modelo F1 Phoenix, en una atmósfera de nitrógeno con flujo de 20  $\text{mL}/\text{min}$  y con base en la norma ASTM D3418-12

### B. Disolución de tarjetas

Para la obtención del cemento solvente de PVC, se trabajó con dos solventes: el tetrahidrofurano (THF) y la ciclohexanona (CH) [5]. En la disolución de las tarjetas se

utilizó la relación tarjetas/solvente igual a 1/5 w/w para el THF y 1/6 w/w para la CH.

La disolución de las tarjetas se realizó en un reactor de vidrio de capacidad 500 mL a un 70 % de su capacidad. Para la agitación se empleó un agitador en forma de paleta, a una velocidad de 350 rpm, durante un tiempo de 15 min para el THF y 45 min para la CH.

### C. Separación de Cargas e Insolubles

La separación de cargas e insolubles se realizó mediante una centrifugación en una centrifuga marca HealForce, modelo NEOFUGE 15, 300 mL. Se utilizaron tubos de polipropileno de 50 mL. La velocidad y el tiempo de centrifugación se definieron previamente en 4000 rpm y 20 min, respectivamente.

### D. Recuperación del solvente

Con el objetivo de recuperar el solvente utilizado, se destilaron los dos solventes, tanto el THF como la CH. El sistema de destilación empleado en este apartado constó de: balón de tres bocas de capacidad 250 mL, refrigerante recto, camisa de calentamiento, matraz de capacidad 100 mL, termómetro, pinzas y soportes. Los puntos de ebullición de los dos solventes, se midieron con un termómetro de 250 °C: apreciación  $\pm 1$  °C y se alcanzaron mediante una camisa de calentamiento marca Fisher Scientific, modelo MCF-5/X1.

Luego de la recuperación del solvente, se obtuvo el cemento solvente de PVC. Aquí se debe remarcar que el producto obtenido para poder ser comercializado, debe tener una concentración de resina superior al 10 % w/w del sistema total [6]. Por esta razón se decidió obtener un cemento solvente de PVC con un contenido de PVC del 30 % w/w. El valor de la concentración de resina en un cemento solvente de PVC se determinó con base en la norma ASTM D2564-12 [6].

### E. Análisis al cemento solvente de PVC

Para caracterizar el cemento solvente de PVC se hicieron: análisis de volátiles y ensayo de adhesión, ya que éstos aportan resultados muy importantes para la comercialización del producto.

#### 1) Análisis de Volátiles

El método para determinar la concentración del cemento solvente de PVC se hizo con base en la norma ASTM D3030-11 [7]. Se pesaron aproximadamente 10 g del sistema PVC-solvente en una balanza analítica Denver Instrument Company modelo AA-200, 200g, 0.0001 g, y se colocaron en dos cajas Petri, por separado. Luego las cajas, conteniendo la muestra, se colocaron en una estufa MMM Group, modelo Venticell 55, en donde se secaron por un tiempo de 1 h, posteriormente se dejaron enfriar y se pesaron nuevamente. El porcentaje de volátiles se calculó mediante la diferencia entre el peso de la muestra antes del secado y su peso luego del mismo.

#### 2) Ensayo de adhesión del cemento solvente de PVC

La adhesión del cemento solvente de PVC en tuberías, se determinó de acuerdo a la norma ASTM D3163-01 [9]. La velocidad del ensayo fue 500 mm/min. Los cortes al sustrato se hicieron mediante una sierra, de forma manual, a partir de las

dimensiones mostradas en la norma. Con fines comparativos, este análisis también se lo hizo a un cemento solvente de PVC comercial.

### F. Análisis de costos

Finalmente se realizó un análisis de costos para la implementación de una planta piloto para la producción del cemento solvente de PVC. Para lo cual se tomaron en cuenta los costos de la materia prima que comprenden las tarjetas de identificación plásticas, además se consideraron costos de reactivos, equipos y servicios auxiliares mediante proformas actualizadas a inicios del año 2015.

A partir de dichos costos se estimó el valor de producción de un frasco de 237 mL de cemento solvente el cual sería susceptible a ser comercializado.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. Identificación de los componentes de las tarjetas

En la Fig. 1 se muestra el espectro IR de una muestra de las tarjetas estudiadas, superpuesto con el estándar PVC del espectrofotómetro utilizado en las pruebas.

Al analizar el espectro IR, se determinó que se trataba de Policloruro de Vinilo (PVC), debido a que se encontraron las bandas características del PVC (1430 y 690  $\text{cm}^{-1}$ ) [9]

En la Fig. 2 se muestra el termograma del segundo calentamiento a 20°C/min de la muestra estudiada. Se aprecia una sola transición vítrea a 80,7 °C en la zona donde la primera derivada exhibe un mínimo. Al comparar este valor con bibliografía, se puede confirmar que la muestra se trata de PVC sin plastificar.

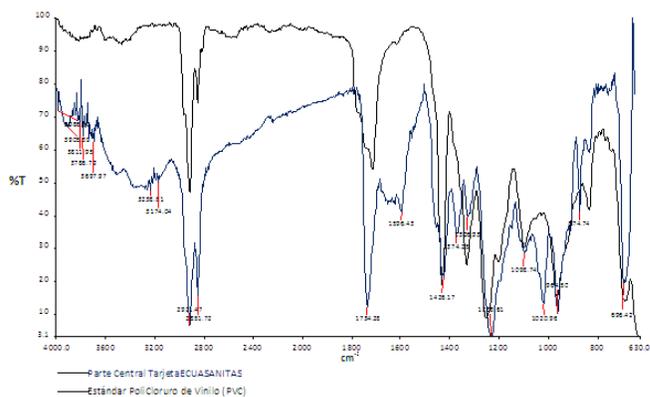


Figura 1. Espectro infrarrojo, superpuesto con el espectro estándar de PVC

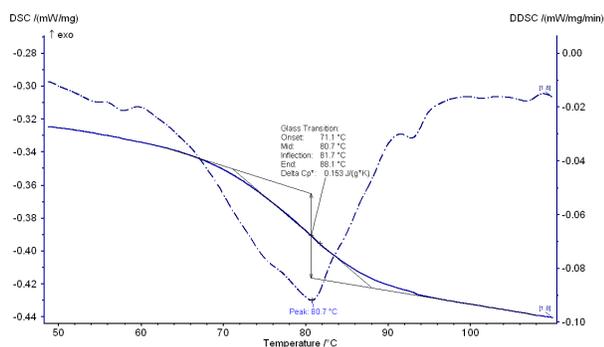


Figura 2. Termograma ampliado correspondiente al segundo calentamiento de la muestra a 20°C/min

### B. Disolución de tarjetas

En la Fig. 3 se muestran las fotografías de los dos sistemas disueltos.

Como se observa, el resultado de la disolución de las tarjetas recolectadas en los dos solventes (THF y CH) fue un líquido de color blanco. Debido a que los dos solventes empleados son incoloros, visualmente no se encontró ninguna diferencia entre los sistemas disueltos.

### C. Separación de cargas e insolubles del material disuelto

Inicialmente se planteó la separación de las cargas e insolubles del PVC, mediante una sola centrifugación, a 4000 rpm durante un tiempo de 20 min. Pero durante la ejecución de este método se pudo notar (visualmente) como este resultado todavía presentaba cargas. Por esta razón, se decidió probar con varias centrifugaciones, hasta que la cantidad de cargas retiradas por ciclo de centrifugación no varíe considerablemente.

El criterio para poder definir el número de centrifugaciones adecuadas fue determinar en cual ciclo de centrifugación la variación de masa del residuo fue mínima o nula. Es así que, para los dos solventes se determinó que se debería centrifugar hasta un tercer ciclo. La concentración de solvente y cargas presentes en cada ciclo de centrifugación, se obtuvieron con base en la norma ASTM-D3030, la cual dictó las condiciones de determinación de materia volátil en resinas de cloruro de vinilo.

En la Fig. 4 se muestra una representación gráfica del número de ciclos de centrifugación y la cantidad de cargas separadas. Como se puede observar, la primera centrifugación, en el solvente THF, es la que mayor cantidad de cargas separa. Para la segunda y tercera centrifugación todavía se puede retirar más cargas e insolubles, pero la variación entre la masa de éstos no supera el 2%. La misma situación se presentó con la CH, donde la variación de masa del residuo (cargas) entre la segunda y tercera centrifugación apenas superó el 1%.



Figura 3. Tarjetas recolectadas disueltas: a) en THF y b) en CH

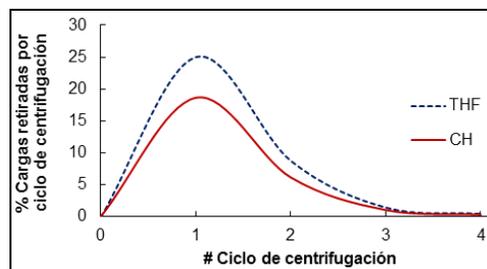


Figura 4. Variación de las cargas retiradas con respecto a los ciclos de centrifugaciones en los solventes THF y CH

En la Fig. 5 y Fig. 6 se muestran los resultados luego de cada ciclo de centrifugación, para la CH y THF, respectivamente. Se puede notar como para el sistema disuelto en CH, la cantidad de cargas separadas fue menor con respecto al sistema disuelto en THF, ya que el líquido del sistema PVC/CH era más oscuro.

En la Fig. 5 se muestra una comparación entre el resultado de cada ciclo de centrifugación para el sistema disuelto en CH. En la Fig. 6 se muestra una comparación entre el resultado de cada ciclo de centrifugación para el sistema disuelto en THF.

### D. Recuperación del solvente

En este proceso, se determinó que el solvente más susceptible a recuperarse, desde el punto de vista de eficiencia de recursos utilizados, es el THF. Debido a que el valor de la temperatura de ebullición del THF, 56 °C, es más pequeño en comparación a la de CH, 143 °C, el tiempo necesario para recuperar el solvente fue menor para el THF, lo cual determinó una menor cantidad de agua de enfriamiento para la recuperación, y por ende, una menor cantidad de energía y representaría menor costo si este subproceso (destilación) se industrializa.

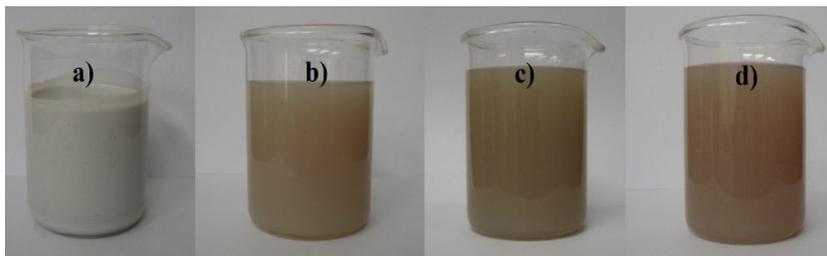


Figura 5. Comparación del número de ciclos de centrifugación en el sistema conciclohexanona: a) tarjetas disueltas, b) 1era centrifugación, c) 2da centrifugación y d) 3era centrifugación

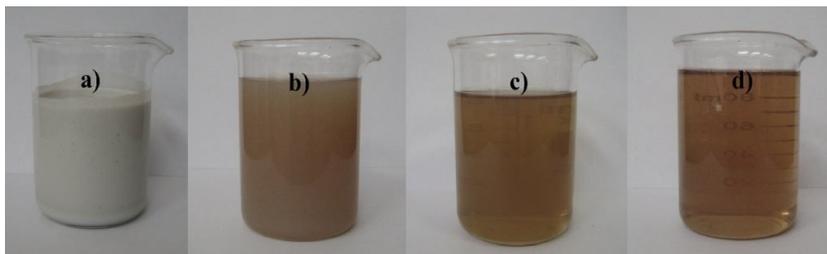


Figura 6. Comparación del número de ciclos de centrifugación en el sistema con tetrahidrofurano: a) tarjetas disueltas, b) 1era centrifugación, c) 2da centrifugación y d) 3era centrifugación

### E. Análisis al cemento solvente de PVC

#### 1) Análisis de volátiles

Como se pudo notar en la Fig. 5 y Fig. 6 el resultado de la tercera centrifugación (cemento solvente) era un líquido café oscuro y viscoso. Se hace esta aclaración debido a que todos los tipos de cementos de PVC comerciales son incoloros, es decir que una de las diferencias entre el cemento obtenido a partir de tarjetas de identificación y un cemento comercial será la presentación visual de este producto.

Las relaciones de disolución (1/5 tarjetas/THF y 1/6 tarjetas/CH) fueron determinadas para un mínimo uso de solvente, lo cual alteró la concentración propuesta inicialmente de obtener un pegamento con 30 % de PVC. Esto obligó a determinar la cantidad de solvente que tenían los sistemas THF-PVC y CH-PVC luego de la tercera centrifugación mediante la norma ASTM D3030.

Luego del tercer ciclo de centrifugación, la concentración de solvente (% volátil), mostró un valor de 85 y 81 % w/w, para el THF y CH respectivamente, con lo cual se debió destilar hasta obtener un porcentaje de volátiles cercano al 70 %. Se habla de un porcentaje aproximado (cercano), debido a que el proceso de destilación no se puede interrumpir bruscamente y obtener la concentración deseada, por lo que se destiló hasta recuperar un volumen de solvente que permita obtener una concentración próxima a la propuesta inicialmente.

En la Tabla 1 se muestran las concentraciones finales de los dos cementos solventes de PVC, obtenidas mediante el análisis de volátiles, con base en la norma ASTM D3030.

Como se puede observar en la Tabla 1, la concentración tanto de THF como de CH, fueron muy cercanas a la concentración propuesta (70% solvente).

Sin embargo, la desviación estándar del THF presentó un valor mucho mayor a comparación con la de CH, lo cual pudo deberse a la volatilidad del THF. El THF, al ser un compuesto muy volátil, presentó dos escenarios, propios de la destilación, al momento de su recuperación: a una interrupción temprana de la destilación, se recuperó una menor cantidad de solvente que la deseada; y a una interrupción tardía de la destilación, el sistema empieza a degradarse por falta de solvente en la mezcla.

TABLA 1. CONCENTRACIÓN FINAL DEL CEMENTO SOLVENTE DE PVC DISUELTO EN THF Y CH

Solvente	Concentración solvente [w/w]
THF	69,78 ± 0,84
CH	70,98 ± 0,30

X ± σ

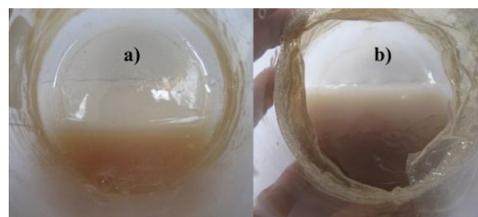


Figura 7. Cemento solvente de PVC: a) solvente CH y b) solvente THF

En la Fig. 7 se muestra la diferencia visual entre los dos cementos solventes obtenidos, a una concentración de 30 % w/w de PVC.

Como se observa en la parte b) de la fotografía, luego de 10 min sin una cubierta al recipiente, el cemento con THF muestra en las paredes PVC seco o sin solvente, mientras que para el cemento con CH todavía se conserva líquido. Esta consideración (tiempo de secado) fue determinante al momento de elegir cual solvente se debe utilizar en la producción del cemento solvente de PVC, y se complementó con el tiempo de disolución de las tarjetas y los resultados del ensayo de adhesión.

## 2) Ensayo de adhesión

La norma ASTM D2564 menciona una triple prueba para el cemento a ensayarse, después de 2, 16 y 72 horas de haber pegado los sustratos. Lamentablemente el cemento solvente disuelto en ciclohexanona, al no ser un solvente tan volátil como el tetrahidrofurano, tardaba más de 2 h en secarse en el sustrato. Además, con fines comparativos, este mismo ensayo se realizó para un cemento solvente de PVC comercial.

En la Tabla 2 se muestran los resultados del ensayo de adhesión para el cemento solvente de PVC: comercial, disuelto en THF y CH.

Al comparar los valores de carga máxima, mostrados en la Tabla 2, correspondientes a los tres cementos ensayados, se puede notar claramente como los valores pertenecientes al cemento disuelto en THF son muy similares al cemento comercial. Además se debe añadir que en los resultados de la disolución de las tarjetas, cuando se utilizó THF el tiempo de disolución fue 15 min, mientras que para la disolución con CH fue 45 min. Es decir que, cuando se utilizó el primer solvente el tiempo de disolución fue mucho menor.

Con base en estos resultados, se concluye que el solvente a emplearse en el pegamento de tuberías de PVC será el THF.

TABLA 2. RESULTADOS DEL ENSAYO DE ADHESIÓN PARA EL CEMENTO SOLVENTE DE PVC: COMERCIAL, DISUELTO EN THF Y CH

Sistema	Tiempo [h]	Carga máxima [kN]
Comercial	2	0,6263 ± 0,0169
THF		0,6258 ± 0,0172
CH		-
Comercial	16	0,8152 ± 0,0413
THF		0,8147 ± 0,0346
CH		0,2816 ± 0,0235
Comercial	72	1,1258 ± 0,0556
THF		1,0122 ± 0,0464
CH		0,5056 ± 0,0262

X ± σ

A partir de los resultados obtenidos en los diferentes puntos estudiados, en la Fig. 8 se muestra el diagrama de bloques para la producción de cemento solvente de PVC a partir de tarjetas plásticas de identificación desechadas.

## F. Análisis de costos

Debido a la escasa información de fuentes oficiales como del Ministerio de del Ambiente, y a que este tipo de residuos no es considerado para un reciclaje comercial, se consideró que el costo de las tarjetas de identificación desechadas podría ser similar al costo del PET reciclable que corresponde a 1,8 USD/Kg.

Partiendo de los balances de masa del proceso, el costo de producción del frasco de 237 mL se realizó tomando en cuenta costos de material prima, costos de mano de obra y costos de servicios industriales los cuales se presentan en la TABLA 3.

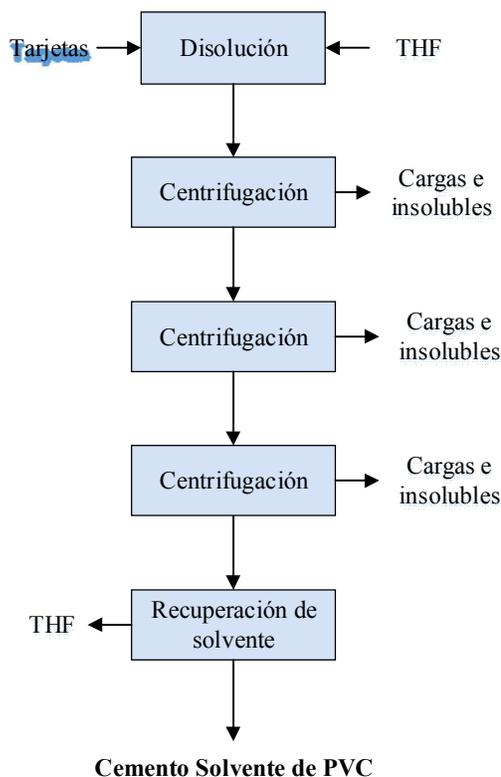


Figura 8. Diagrama de bloques (BFD) del proceso de producción de cemento solvente de PVC

TABLA 3. COSTO POR FRASCO DE 237 ML DE CEMENTO SOLVENTE DE PVC

Descripción	Valor [USD]
Materia prima	1,98
Mano de obra	0,05
Agua	0,002
Energía eléctrica	0,01
<b>TOTAL</b>	<b>2,04</b>

Como se puede observar, el costo de la producción de cemento solvente a partir de las tarjetas es 2,04 USD, y es mucho menor al costo de comercialización de dicho cemento, que actualmente en el mercado rodea los 7,23 USD por frasco de 237 mL. Por lo tanto el proceso propuesto constituye una alternativa rentable para el reciclaje de las tarjetas de identificación.

#### IV. CONCLUSIONES

Se constató que el material con el que se producen las tarjetas de identificación recolectadas era PVC.

Es posible obtener un pegamento para tuberías a partir del reciclaje de PVC de tarjetas de identificación.

El solvente THF disolvió en menor tiempo, y a una menor concentración, a las tarjetas recolectadas, que el solvente CH.

El cemento solvente de PVC disuelto en THF soportó una carga máxima de adhesión mayor que aquel disuelto en CH.

La carga máxima de adhesión que presentó el cemento solvente de PVC disuelto en THF fue 1,01kN y la del cemento comercial de 1,13 kN.

Las características del cemento solvente obtenido a partir de las tarjetas recolectadas y disuelto en THF, son muy similares a las de un cemento solvente comercial.

El costo de producción de un frasco de 237 mL de cemento solvente a partir de las tarjetas de identificación es de 2,04 USD.

#### REFERENCIAS

- [1] Plastics Europe (2013). Plastics – The Facts 2013. Recuperado de [www.pasticseurope.es](http://www.pasticseurope.es) (Marzo 2014)
- [2] Engineers India Research Institute (EIRI). (2012). Technology of PVC compoundings and its applications. Nueva Delhi, India: EIRI
- [3] Polvoleno. (2010). Policloruro de Vinilo. Recuperado de <http://www.polvoleno.com> (octubre 2014)
- [4] Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG). (2012). Informe de Coyuntura Económica. Guayaquil, Ecuador: Recuperado de [http://www.efinanciero.com/banca\\_especiales/tema\\_12\\_2012/banca\\_01\\_2012.pdf](http://www.efinanciero.com/banca_especiales/tema_12_2012/banca_01_2012.pdf) (Diciembre, 2014).
- [5] Vinyl Environmental Council (VEC). (2008). PVC Fact Book. Tokyo, Japón: VEC.
- [6] ASTM. (2012). Standard Specification for Solvent Cements for Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Plastic Piping Systems (2564-12). Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.
- [7] ASTM. (2011). Standard Test Method for Volatile Matter (Including Water) of Vinyl Chloride Resins (D3030-11). Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM

- [8] ASTM. (2010). Standard Test Method for Determining Strength of Adhesively Bonded Rigid Plastic Lap-Shear Joints in Shear by Tension Loading (D3163-10). Pennsylvania, Estados Unidos: ASTM.
- [9] Gonzáles Horrillo, N. (2005). Espectroscopia infrarroja de transformadas de Fourier (FTIR) en estudio de sistemas basados en PVC. San Sebastián, España: Universidad del País Vasco