

ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE LA ENERGIA Y MECANICA

PROYECTO DE GRADO “DETERMINACION DE LOS METODOS DE IDENTIFICACION DE PLASTICOS DE DESECHO PARA LA INDUSTRIA DEL RECICLAJE”

RAMIRO PÉREZ

ARTICULO CIENTIFICO

Este trabajo pretende dar una guía sobre algunos de los métodos, utilizados a gran escala y susceptibles de automatización, empleados para la identificación de los principales termoplásticos utilizados en la industria del reciclaje, con el fin de facilitar e incentivar este sector productivo.

Debido a que cada plástico se procesa de diferente manera, y muchos de ellos no pueden ser mezclados por tener un comportamiento térmico/reológico muy diferente, se emplean varios campos de la ciencia con el fin de identificar de manera eficiente los plásticos, considerando que es prácticamente imposible separar los plásticos desde la fuente.

Los procesos de separación se enfocaron estrictamente a los termoplásticos, debido a que según las tendencias son los de mayor demanda en el mercado y son los más factibles económicamente de recuperación.

Después de consultar las bases teóricas de los diferentes métodos, se utilizó una matriz de ponderación para indagar sobre las especificaciones técnicas de los métodos más útiles para nuestra propuesta, y la verificación del procedimiento.

De esta matriz los métodos de macroclasificación, es decir que no requieren un pretratamiento al elemento, y que se han analizado son:

Espectroscopia infrarroja: Este método emplea la ley de Planck ($E=h\nu$) como base de todas las leyes relativas a fenómenos de emisión y absorción de radiaciones electromagnéticas, tomando en cuenta que $\lambda = c / f$, y se emiten ondas del infrarrojo entre 800 a 2500 nm hacia la molécula polimérica, para afectar sus niveles cuánticos de vibración, con la cual absorbe cierta cantidad de energía dependiendo de su vibración natural y de los posibles niveles energéticos conocidos como bandas.

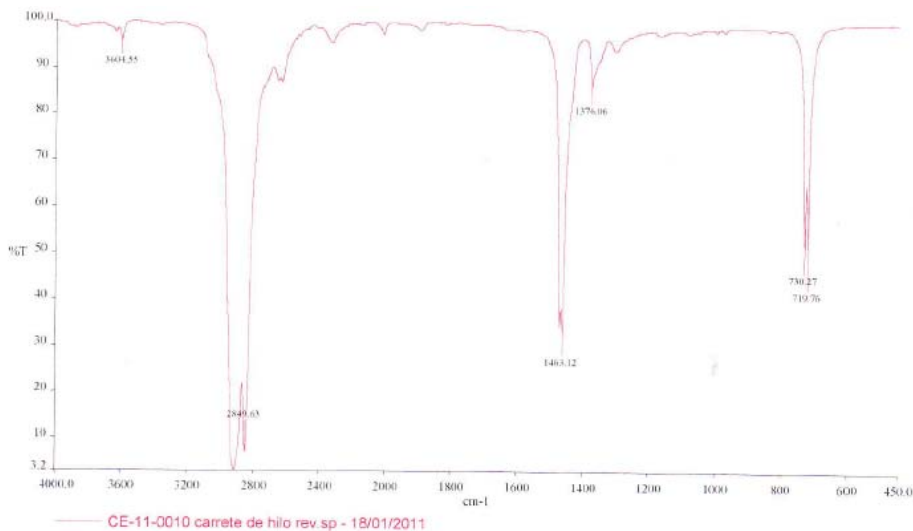
En primera instancia se buscó simular un método propuesto con la utilización de lámparas halógenas cercanas al infrarrojo, por un filtro infrarrojo de cámara fotográfica, pero para que la espectroscopia tenga éxito se debe seleccionar la longitud de onda para encontrar las bandas características del material, este procedimiento lo realiza un AOTF, el cual no pudo ser encontrado en el mercado nacional ni por importación directa.

Con este antecedente el CIAP de la EPN presta el servicio de identificación de materiales por medio del espectro infrarrojo a través de transmitancia, donde se analizaron 5 elementos de naturaleza conocida, arrojando las siguientes bandas características

PS alto impacto: 966, 760, 700 cm^{-1} ; PEAD blanco y PEBD: 2920, 1463, 1376, 730-720 cm^{-1} ;

PP: 1456, 1376, 1167, 973 cm^{-1} ; PET: 1263, 1110, 872, 726 cm^{-1} ;

PVC transparente: 1427, 699 cm^{-1}



Identificación: El espectro obtenido presenta las bandas características del **Polietileno** a 2920, 1463, 1376, 730-720.

Luz polarizada: Basado en la disposición espacial de los átomos de un elemento, lo cual cambia el plano de propagación de las ondas electromagnéticas que lo atraviesen, debido a que contienen centros asimétricos o quirales, que por lo general son los monómeros $\text{H}_2\text{C}=\text{CHR}$ que polimerizan casi exclusivamente cabeza-cola. La verificación de este procedimiento se lo realizó en el laboratorio de física de la ESPE, donde conociendo que la luz se emite en todos los planos posibles dentro de los 360° , es necesario saber en primera instancia en que plano se encuentra la onda que pasara a través del objeto a analizar, para lo cual se colocó un polarizador entre la muestra y la fuente de luz, la cual se recomienda sea monocromática para obtener una sola onda al atravesar el objeto.

Basado en la norma ASTM D4093, la cual describe que la lámpara monocromática debe ser uniforme y de al menos $0.3\text{W}/\text{in}^2$ o $0.04653\text{W}/\text{cm}^2$, entonces se utilizó una lámpara de mercurio que tiene una producción de luz de más de $3\text{W}/\text{cm}^2$.

Al otro lado del objeto se colocó otro polarizador que tiene la libertad de rotar 360° para verificar el cambio de orientación del plano de la onda electromagnética, en los elementos translúcidos.

Los resultados se detallan en la pág. 99 del proyecto ampliado

Prueba de ensayo a la llama: Este procedimiento esta una vez más basado en la ley de Planck, donde al excitar mediante la combustión las moléculas se emite un fotón de frecuencias diferentes para cada material de acuerdo a su salto cuántico. A pesar de que las características de la combustión del material son independientes de la forma de combustionarse, se tomaron como referencia parámetros de la normas ASTM D635, D3801 y D5048 para la selección de la llama mediante el poder calórico (GLP:117.23MJ/m³) y posicionamiento de la llama (45º hacia arriba), especificaciones de las muestras (espesor no mayor a 13mm), y elementos adicionales que ayudan a diferenciar características de cada material como colocar algodón bajo el punto de combustión para ver si el polímero fundido continua combustionandose al caer, entre otros.

La verificación de este método se lo realizo en el laboratorio de ciencia de los materiales con resultados esperados según la bibliografía y que se detallan en la pág. 132 del proyecto de grado.

Dentro de los métodos de microclasificación, es decir que requieren un tratamiento previo del material están:

Hundimiento-flotación: Este método utiliza la diferencia de densidades como mecanismo de separación. Primero se trituro los plásticos en el laboratorio de mecánica de materiales, con el fin de evitar fenómenos ajenos al procedimiento como superficie de contacto y empuje.

Para obtener las densidades del fluido de separación, se utilizo la referencia del Instituto Brasileiro de PVC, donde se especifican soluciones acuosas de sal y alcohol para obtener cuatro diferentes fluidos de separación, y clasificar los principales termoplásticos.

Este método fue comprobado en el laboratorio de física, y en vista de que los valores de las densidades propuestas por la bibliografía no separaban los polímeros de manera satisfactoria, se llevo a otros valores que cumplieran con el objetivo, los cuales se describen en la pág. 94, tabla 5.2. Además se tabularon las cantidades de sal y alcohol necesarias para llegar a estas densidades, y se comprobaron mediante la formula $\rho = \frac{m}{V}$ con los vasos de precipitación y balanzas de dicho laboratorio.

También se propone un método automatizado de separación mediante tambores rotatorios que se dimensionan de acuerdo a recomendaciones de trabajos previos dados por la universidad de Tokio, con respecto a la relación entre masa de polímero y volumen de solución.

Flotación por espuma: Basado en las propiedades de hidrofilidad e hidrofobidad de los materiales, este método se utiliza solo cuando el método anterior no arroja buenos resultados debido a la similitud en las densidades de los plásticos. Al igual que es método anterior, este es un sistema binario, y busca alterar la capacidad de los plásticos de atraer moléculas de agua, para que al inyectar burbujas de aire, estas no se adhieran al elemento tratado dejándolo en el fondo del fluido, mientras que dichas burbujas se pegaran al elemento no tratado llevándolo hasta la superficie del fluido. Para estabilizar las burbujas se requiere de un espumante o un tensoactivo o espumante.

Se tomo como referencia los trabajos de la Universidad de Tailandia, por lo que la verificación de este procedimiento se centro en la separación del PET y PVC mediante la aplicación de PVP en cantidades descritas en la pág. 114 y 117 para convertir a hidrófilo al PVC. Las variables que se tomaron en cuenta para realizar estas pruebas fueron el peso y tamaño de los elementos a separar, el tiempo de tratamiento del polímero, y las cantidades de PVP así como de espumante.

Además para que las burbujas sean uniformes y estables al momento de la separación se las redujo al máximo mediante un aireador y la separación fue hecha con la solución agitándose constantemente a 1200 rpm. Este método arrojó resultados notablemente favorables.

Este método es ampliamente utilizado en la minería, por lo que los espumantes fueron adquiridos en la facultad de minas y petróleos de la Universidad Central y se busco la orientación del Ing. José Valencia, mientras que el PVP es un elemento farmacéutico de laboratorios LIFE.

Fricción electrostática: Este procedimiento se sustenta en la carga que adquieren los elementos al frotarse entre si, según la serie triboeléctrica. Dicha serie organiza varios elementos de forma descendente, siendo los más distantes los que se cargaran con mayor valor y cada elemento con cargas opuestas. El proceso finaliza al hacerlos pasar por un campo magnético uniforme y de gran intensidad. Para que los elementos se puedan separar eficientemente la fuerza magnética debe ser notablemente mayor que la fuerza de gravedad, como se puede visualizar en la pág. 83, por lo que es recomendable triturarlos al máximo para no aplicar un campo magnético tan grande.

Este procedimiento se comprobó en el laboratorio de física, primero frotando los diferentes elementos de PVC con los de PET sin triturarlos, puesto que estos son los más distantes en la serie, para ver cual adquiere mayor carga al acercarlo al electroscopio.

Para que exista un óptimo traspaso de electrones, los materiales deben estar completamente libres de humedad, y si es posible precalentarlos, por lo que los pre acondicionamos en un secador de manos con una temperatura de 50°C y una humedad del 10%. Después de esto se observo que el PVC transparente y rígido era más propenso al traspaso de electrones con el PET, por lo que se trituraron al máximo estos dos elementos.

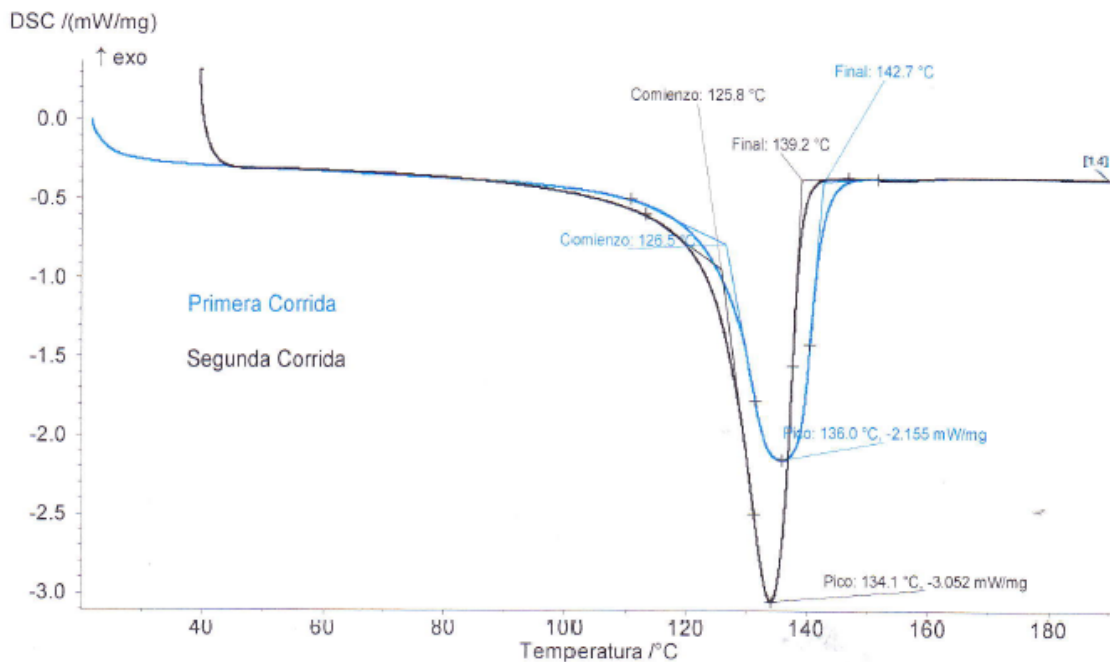
Existe formulas para dimensionar el campo magnético necesario para cierta carga del elemento establecido en la pág. 84, el cual no se pudo medir por no disponer del equipo para medir la carga adquirida por el elemento. Con este antecedente el campo magnético propuesto en la bibliografía era de 240Kv/m, y aunque no se logro este valor, el campo se hizo de dos placas de cobre de 0.3mm de espesor conectadas a una fuente de DC de 10Kv logrando un campo de 222.2 a una distancia de 4.5cm. Cabe señalar que las placas de cobre no requieren mayor espesor puesto que bajo el análisis de la pág. 104 la superficie transversal al paso de energía es inversamente proporcional al voltaje.

En vista de que para el análisis los trozos de PET y PVC eran ópticamente similares, se los cargo en diferentes contendedores del material contrario y con un elemento reconocible para verificar la atracción hacia alguna de las placas del campo magnético. Al exponerlos al campo

magnético se observo el comportamiento esperado para cada elemento, pero no pueden topar la placas del campo debido a que se cargan instantáneamente con el signo de esta y el elemento empieza a rebotar de placa a placa.

Análisis térmico diferencial: Este método se basa en el análisis del calor debido a los cambios de temperatura de un material, es decir mide las variaciones entálpicas del material a analizar con respecto a una muestra inerte, que no sufre cambios entálpicos en el rango de temperaturas empleado. La finalidad de este proceso es calentar de manera independiente la muestra y la referencia de acuerdo a los cambios energéticos de estas, y luego compararlos con un patrón establecido. Este proceso no puede ser empleado de manera sistemática, puesto que el análisis debe ser de elemento a elemento y solo es de utilidad si se conoce que todo el grupo es de la misma naturaleza. La verificación de este procedimiento se realizo en el CIAP de la EPN bajo la norma ASTM D3418 a un incremento de temperatura de 10°C/min.

En este procedimiento no se puede analizar el PVC puesto que se degrada a bajas temperaturas y su comportamiento se torna aleatorio. La norma para determinar la estabilidad térmica del PVC se encuentra en la ASTM D2115



Muestra	Temperatura (2 ^{da} corrida) °C	Tipo de transición	Identificación
Base de carrete de hilo	134,1	Endotérmica (punto de fusión)	Polietileno de alta densidad HDPE