

RECUPERACIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS EN LA INDUSTRIA DE IMPRESIÓN FLEXOGRÁFICA

LIQUID WASTE RECOVERY FROM FLEXOGRAPHIC PRINTING INDUSTRY

Jhoan Steven Castro León*
Felipe Correa Mahecha**

Recibido: 15 de agosto de 2018

Aceptado: 23 de noviembre de 2018

Resumen

La industria de impresión gráfica en Colombia se encuentra en crecimiento; no obstante, este mayor desarrollo implica una alta generación de residuos peligrosos asociados a las operaciones de impresión. La mayoría de estos residuos no son aprovechados, lo que genera gastos adicionales, pues se requiere la contratación de terceros para su manejo, tratamiento y disposición final; incluso, en algunos casos, no son dispuestos adecuadamente y generan contaminación. Se hace indispensable desarrollar procesos que permitan la recuperación de los constituyentes de estos residuos, de tal forma que se prevengan impactos ambientales y se obtengan productos que puedan ser reutilizados en el sector de tintas de impresión u otro tipo de productos con valor agregado. Se ha planteado la recuperación de los solventes, que representan alrededor del 93 % del residuo total, por medio de una destilación simple; proceso en el que se obtiene recuperación aproximada del 95 %. Sin embargo, el residuo de fondo sigue sin ser aprovechado. Al respecto, el grupo de investigación Procesos de Separación no Convencionales (GPS), de la Fundación Universidad de América, está adelantando una investigación relacionada con la recuperación de pigmentos, ya que son componentes con un alto costo económico y su disposición en celdas de seguridad es costosa. Este artículo se enfoca en la revisión de estudios sobre la industria de impresión, sus residuos y las tecnologías utilizadas para el tratamiento de residuos de tinta o similares.

Palabras clave: solventes, pigmentos, tinta, separación.

Abstract

The graphic printing industry in Colombia is growing as the generation of hazardous waste associated with printing operations. Most of these are not used, so, they generate additional costs when third parties are required to handle, treat and dispose them. In other cases, they are not adequately disposed generating pollution. It is essential to propose processes that are able to recovery the compounds of these residues to prevent environmental impacts generated by them. At the same time, obtain products that can be reused in the printing ink sector or other value-added products. In a first stage,

* Estudiante de Ingeniería Química. Semillero de investigación Procesos no Convencionales, Facultad de Ingenierías, Fundación Universidad de América, Bogotá D. C., Colombia. jhoan.castro@estudiantes.uamerica.edu.co

**Ingeniero Químico, Docente Investigador, Facultad de Ingenierías, Fundación Universidad de América, Bogotá D. C., Colombia. felipe.correa@profesores.uamerica.edu.co

the recovery of the solvents has been considerate since they represent about 93 % of the total waste mixture, by a simple distillation process were obtained a recovery of approximately 95 % of the solvents in the waste mixture. However, the residue remain has not been used yet. So in the research group of unconventional separation processes of the University of America is doing an investigation that allows the recovery of pigments. Since they have the greater economic cost and their disposition in security cells is expensive, this article focuses on the study of the background of printing industry, its waste and antecedents about technologies used for the treatment of waste ink or samplings chemically similar.

Keywords: solvents, pigments, ink, separation.

INTRODUCCIÓN

La industria de impresión gráfica en Colombia genera alrededor de 60 000 empleos directos (Sena, s. f.). El Ministerio de Industria y Turismo, en el reporte del primer trimestre del 2017, indica que este sector tiene una participación de 3.5 en el PIB industrial del país. Por su parte, el sector editorial y de comunicación de artes gráficas presentó un crecimiento del 4.3 % en el 2016 (Ávila, Gómez, Isaza y Patiño, 2017).

La figura 1 muestra la cantidad de residuos peligrosos procedentes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices en 2015 y 2016; tal como aquí se aprecia, en estos dos periodos fueron aprovechados solo el 46.4 % y el 33.91 % de estos residuos, respectivamente.

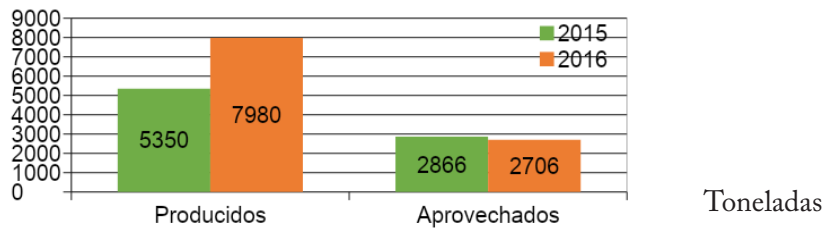


Figura 1. Cantidad de residuos tipo Y12 registrados en 2015.

Fuente: elaboración propia, según datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2016a, 2016b).

La figura 2 presenta la cantidad de residuos ordinarios, sólidos peligrosos y líquidos peligrosos generadas en estos procesos, que es evaluada según los datos de la encuesta realizada por la Asociación Colombiana de la Industria de la Comunicación Gráfica (Andigraf) en su informe de sostenibilidad del 2013, en la que además se reporta que al alrededor del 7 % de la tinta consumida como materia prima para el proceso de impresión termina como residuo.

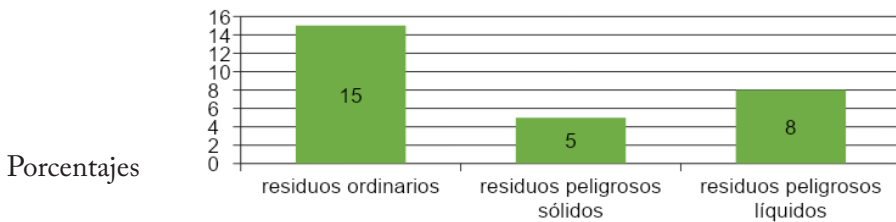


Figura 2. Porcentaje de residuos recuperados o valorizados.

Fuente: elaboración propia, según datos de Andigraf (2013).

Adicionalmente, en el último informe de Andigraf (2018) sobre la sostenibilidad del sector de impresiones en Colombia se indica que el 51 % de los residuos peligrosos generados en la industria gráfica provienen de la producción y utilización de tintas, con alrededor de 1594 toneladas de esta clase de residuos.

Teniendo en cuenta esta problemática, se está investigando sobre la posible separación de los componentes de los residuos líquidos que genera la industria flexográfica, toda vez que es el sistema de impresión industrial más importante por su predilección de uso, buen desempeño, calidad y rentabilidad para la impresión de empaques y embalajes de todo tipo de productos.

La tinta de impresión se compone de material colorante, resinas, solventes y aditivos (Instituto Tecnológico de Óptica, Color e Imagen, 2006). A continuación, se explica brevemente cuál es la función de cada uno de estos compuestos y se presentan aquellos que son los más usados en las tintas de impresión.

• Solventes

Estos compuestos solubilizan la resina para darle manejabilidad y fluidez a la tinta.

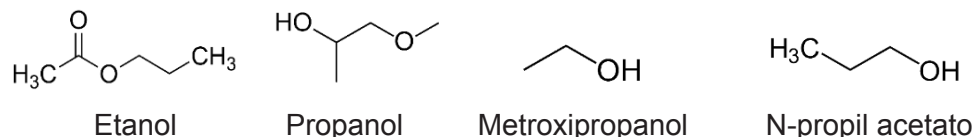


Figura 3. Solventes orgánicos volátiles.

• Pigmentos

Los pigmentos son los encargados de dar color a la tinta. Estos compuestos no se solubilizan en el medio dispersante.

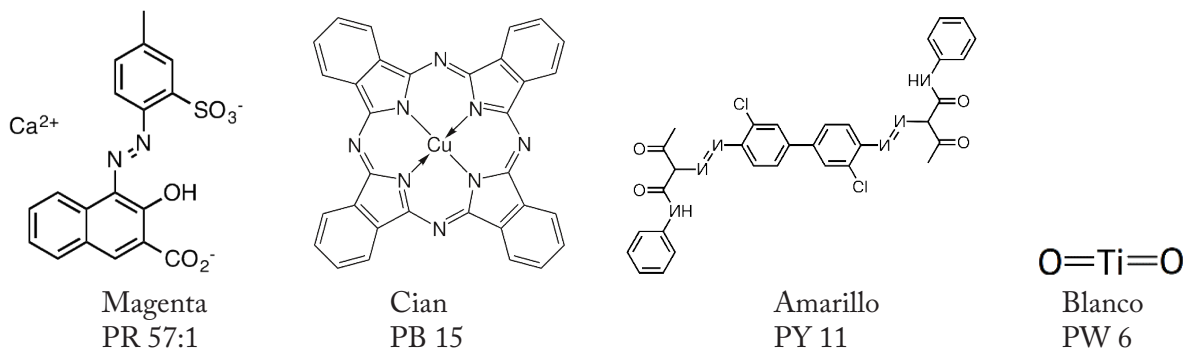


Figura 4. Pigmentos usados en tintas de impresión.

• Resinas

Se polimerizan para dar resistencia a la tinta impresa, lo que evita el movimiento de los pigmentos. Pueden ser un único compuesto, o bien, una mezcla de varios monómeros.

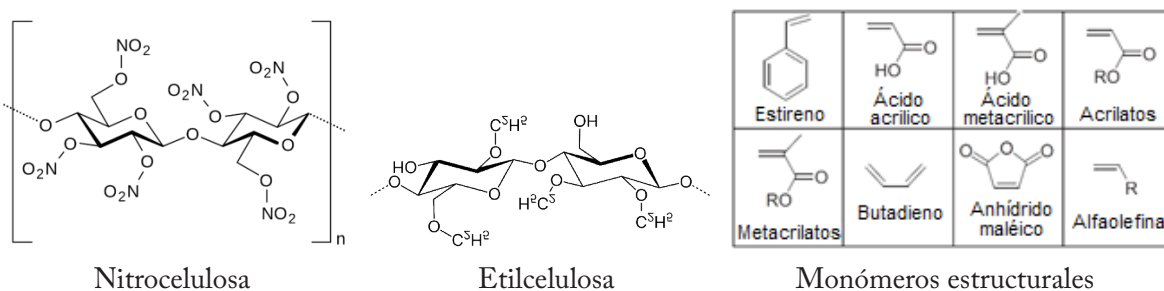


Figura 5. Resinas usadas en tintas de impresión.

• Aditivos

Estas sustancias dan propiedades específicas a las tintas, como mejorar el brillo o la resistencia. Usualmente son ceras o aceites.

En trabajos previos realizados por el grupo de investigación Procesos de Separación no Convencionales (GPS) se propuso un proceso para la recuperación de los solventes, ya que estos son los componentes mayoritarios en esta clase de residuos; igualmente, se investigaron diversas alternativas de separación, realizando el estudio de curvas de residuo como metodología para el diseño de torres de destilación (Correa, Tamayo y Arias, 2017).

Entre los antecedentes de investigación se encontró que es posible recuperar el contenido de agua de una mezcla de tinta residual procedente de un proceso de impresión *offset* con la adición de alcohol absoluto (Yan, Chen, Zhu y Yao, 2013). Por otra parte, con la adición de un agente floculante, existe la posibilidad de separar los sólidos presentes de los residuos de tinta por medio de centrifugación, así que los solventes y gran parte de las resinas pueden separarse mediante destilación simple (Fullana, Pineda y Aracil, 2011).

La investigación pretende apoyar el sector de la impresión flexográfica en tres aspectos: a) desarrollar procesos que permitan recuperar o aprovechar de manera adecuada los residuos generados en este sector, b) evitar costos adicionales y c) disminuir los impactos ambientales que este tipo de industrias generan. En la actual fase de desarrollo, este proyecto busca proponer alternativas de recuperación de los pigmentos y resinas contenidos en los residuos de tintas, con el fin de reincorporar dichos compuestos a los procesos de impresión flexográfica o usarlos en otras aplicaciones de valor agregado.

En este artículo se analizarán los principales antecedentes sobre el tratamiento de residuos de tinta, los resultados obtenidos, los métodos que se han utilizado para la realización de los mismos y los objetivos que se pretenden alcanzar con el proyecto de investigación.

MÉTODO

En la primera fase del proyecto de Arias y Tamayo (2017) se realizó un muestreo de los residuos de tinta procedentes del lavado de equipos en una industria del sector de impresión flexográfica; proceso que se efectuó según los parámetros establecidos por la NTC 1052 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2016).

La caracterización de los residuos de tinta se realizó en el Centro de Gestión Industrial del Sena seccional Bogotá, donde se determinó los compuestos orgánicos volátiles mediante cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas. El material no volátil se midió siguiendo la NTC 762 (Icontec, 1974) y mediante una prueba gravimétrica. La humedad fue cuantificada mediante el método de Karl Fischer,

según lo establece la NTC 4659 (Icontec, 1999). Adicionalmente, se realizaron pruebas de destilación tal como lo dispone la NTC 619 (Icontec, 1995). Por último, con base en el cálculo del equilibrio de fases de la mezcla de solventes y con el uso de NRTL como modelo termodinámico, se diseñó el equipo de destilación discontinuo que permitió recuperar los solventes con el fin de que sean usados nuevamente en el proceso de impresión y las operaciones de limpieza de los equipos.

El material de fondos fue caracterizado parcialmente por medio de pruebas gravimétricas. Con el programa Aspen Plus se realizó un estudio termodinámico de la separación de la mezcla bajo los modelos UNIQUAC y NRTL, en el que se obtuvo los mapas de curvas de residuos; esta herramienta servirá para el diseño y optimización del sistema de separación y recuperación de solventes (Correa, Tamayo y Arias, 2017).

En la presente fase de la investigación se pretende separar los pigmentos de la mezcla residual procedente de los fondos en el proceso de recuperación de solventes, o bien, directamente de los residuos de tinta de impresión, para ello se está realizando una búsqueda bibliográfica sobre el tema. Luego se realizará un muestreo de los residuos de tinta en una empresa del sector de impresión flexográfica con el fin de caracterizar estos residuos, haciendo énfasis especial en los compuestos no volátiles, más específicamente, en los pigmentos presentes.

Entre los procedimientos para la caracterización de los residuos de tinta muestreados (que podrían ser factibles en base a la disponibilidad de equipos, materiales y reactivos) se encuentran: curvas de destilación, pruebas gravimétricas, espectrofotometría diferencial y picnometría; procesos en los que siempre hay que tener en cuenta las técnicas existentes y los artículos científicos que comprueben a efectividad del método para la cuantificación o caracterización de los compuestos de interés.

Posteriormente se realizará un análisis de las alternativas encontradas y propuestas para la separación de los pigmentos, mediante un análisis de alternativas multicriterio y la realización de experimentaciones que permitan conocer la factibilidad de algunos de los procesos seleccionados (todos los ensayos de laboratorio se realizarán con el apoyo y asesoramiento del Tecnoparque del Sena nodo Bogotá). Por último, se analizarán los resultados experimentales para conocer el desempeño de las alternativas de separación realizadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según los datos de la figura 6, los solventes representan el 93 % del total de la mezcla residual de tinta flexográfica inicial y están compuestos por propanol, etanol, N-propil acetato, acetato de etilo y metoxipropanol; por su parte, el 4.76 % corresponde a sólidos suspensión (pigmentos) y otros componentes (resinas o aditivos de la fórmula de la tinta) (Arias y Tamayo, 2017).

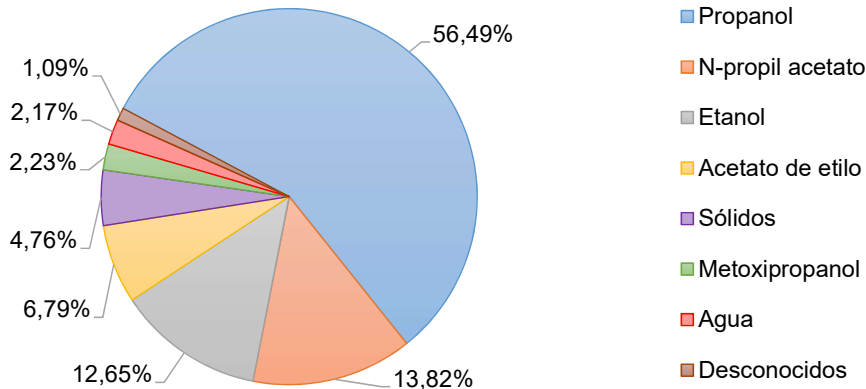


Figura 6. Composición porcentual cuantificada de la muestra tomada de los residuos de tinta.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que la proporción de los compuestos puede variar, ya que el principal proceso de generación de esta clase de residuos son el lavado y purga de equipos de impresión, por lo que no se tiene un control exacto de la cantidad de solvente que se requiere para la limpieza o de la tinta residual impregnada en los equipos. Además, los componentes presentes en estos residuos pueden variar según los solventes que sean utilizados por las empresas de impresión y la formulación usada por los fabricantes de tintas.

En la tabla 4 se presenta los resultados de las pruebas que realizaron Arias y Tamayo (2017), en las que se lograron separar el 89.384 % del efluente total en la fase ligera, del cual el 98.46 % corresponde a los compuestos orgánicos volátiles y el porcentaje restante corresponde a una fracción de agua.

Tabla 1. Composición porcentual de las corrientes en la prueba de destilación

Compuesto	Residuo (%)	Destilado (%)	Fondos (%)
Propanol	56.487	59.872	27.986
Etanol	12.649	13.677	3.9941
N-propil acetato	13.822	14.593	7.3231
Acetato de etilo	6.7852	7.5034	0.7380
Metoxipropanol	2.2431	2.0343	4.0014
Total de solventes	93.075	98.460	47.733
Agua	2.1280	1.5400	7.4555
Sólidos	4.7573	0.0000	44.812
Desconocidos	1.0890	0.7800	3.6908

Fuente: datos tomados de Arias y Tamayo (2017).

La primera fase del proyecto culminó con el diseño del equipo de destilación para recuperar aproximadamente el 95 % de los solventes presentes en el residuo; no obstante, las opciones tecnológicas para el manejo y recuperación de los pigmentos, resinas y aditivos presentes en el residuo de fondos sigue siendo su envío a una empresa especializada en residuos peligrosos, donde son incinerados o dispuestos en celdas de seguridad.

Por esta razón se ha planeado continuar con investigaciones que permitan aprovechar adecuadamente los demás componentes presentes en los residuos generados por la industria flexográfica. En esta etapa se ha propuesto el enfoque de recuperación de pigmentos, en el que hasta el momento se ha realizado una revisión bibliográfica sobre el tema, de tal forma que se puedan proponer y/o replicar diferentes procesos de separación capaces de separar de forma adecuada estos residuos, con el propósito de obtener componentes o mezclas de los mismos que puedan tener un valor agregado o una utilidad más alta que el residuo original.

Algunos autores proponen procesos como la ultrafiltración, en la que se usa de membranas de celulosa para concentrar o separar tinta de un efluente de agua residual (Ersu, Braidá, Chao y Ong, 2004). No obstante, debido a las limitaciones en cuanto accesibilidad a los equipos necesarios para realizar ultrafiltración u osmosis inversa, estos procesos de separación, aunque teóricamente factibles, son descartados en esta fase de la investigación.

Por otra parte, Sullana et ál. (2011) han propuesto el uso de una solución de cloruro de sodio para separar los pigmentos de la mezcla de tinta residual, por medio de su floculación y posterior separación mediante centrifugación de la mezcla; este es uno de los procesos más promisorios encontrados hasta el momento, ya que permite la separación de los pigmentos y los solventes, resinas y aditivos, los cuales

se pueden separar por medio de una destilación simple. Pese a que no se conoce cuál fue el origen las tintas residuales a tratar, así como tampoco se menciona en este estudio cuál es el efecto que ocasiona la floculación de los pigmentos, como primera hipótesis se plantea la separación por acción del pH, así que se realizará una experimentación que permita comprobar si la hipótesis es correcta; igualmente, se replicará la experimentación realizada, pero a residuos de la industria flexográfica generados en la ciudad de Bogotá, para conocer si los principios de funcionamiento se aplican de la misma manera.

Yan et ál. (2013) presentan una propuesta para la recuperación de tinta residual en una industria de impresión *offset*, la cual, además de tinta, contenía solventes orgánicos y agua. Esto se realizó por medio de la adición de una cierta cantidad de alcohol libre de agua a la mezcla residual, para generar una fase azeotrópica entre el alcohol y el agua, permitiendo así la eliminación de esta por medio de una destilación simple, en la que finalmente en los fondos se obtenía una pasta de tinta de color gris con una densidad inadecuada para la impresión; así que, por medio de la adición de pigmentos para corregir el color a un negro estándar y de otras sustancias para mejorar las propiedades reológicas, se obtuvo una tinta con propiedades muy similares a las de la tinta estándar y que podía ser reutilizada en el proceso de impresión.

Por su parte, Liu, Dai, Chang, Cheng y Shih (2010) estudiaron operaciones de adsorción asistida de la tinta en una película polimérica por medio del uso de dodecanol con base en polietilenglicol como surfactante, con una mezcla de solventes de naftaleno y acetato de isoamilo en un proceso de destintado de papel procedente de la industria xerográfica. En este proceso los surfactantes eran floculados y separaban las partículas de tinta en micelas; a través de agitación, estas eran desorganizadas y las partículas de tinta se adherían a la película plástica. Aquí se evaluaron diversas condiciones de operación, modificando variables como la velocidad de agitación, la temperatura, el tiempo de residencia, la concentración de agente floculante y el tipo de película polimérica. Se encontró como resultado que las mejores condiciones son 130 rpm, 20 °C, 7 minutos, 0.3 % en peso de dodecanol y 0.8 % en peso de la mezcla de solventes, además del uso de polietilentereftalato. Esta configuración presentó los mejores resultados: eliminó hasta el 99.98 % de la tinta impresa del papel. Adicionalmente, el estudio establece que es posible separar la tinta de la película plástica mediante un proceso de filtración.

Finalmente, a través de la búsqueda de las propiedades fisicoquímicas de las sustancias comúnmente más usadas para la fabricación de tinta y otras fuentes bibliográficas, Xing et ál. (2017) propusieron la utilización de procesos de separación, tales como la flotación, la cual es usada para el destintado de residuos de pulpa de papel. Este proceso consiste en la inyección de aire por la parte inferior del contenedor de la mezcla para crear burbujas que recorran el interior y atrapen en su superficie a las partículas en suspensión que estén presentes; de esta forma, en la parte superior se obtendrá una espuma con los sólidos en suspensión, que para este tipo de residuos se trataría de los pigmentos.

CONCLUSIONES

Según los criterios que se tuvieron en cuenta, la forma más eficaz de recuperar los solventes de la mezcla de tinta residual es mediante destilación, por la apreciable diferencia en los puntos de ebullición entre los compuestos clave ligeros y pesados.

A través de pruebas experimentales de destilación *batch* se logró extraer el 94.55 % de los solventes presentes en la mezcla residual inicial y recuperar el 96.034 % de esta para su retorno como solvente en la dilución de tinta.

Esta investigación propone tres resultados:

- Muestreo y análisis de caracterización que permita observar el panorama general de los residuos líquidos generados en una empresa de la industria flexográfica en Bogotá, haciendo énfasis en

los pigmentos, pues son las sustancias de interés, aplicando las normas técnicas (como la NTC 1052) para el muestreo de los residuos y métodos para la cuantificación de compuestos, como espectrofotometría diferencial, curvas de destilación, picnometría y gravimetría.

- Se encontrarán y se llevarán a cabo experimentalmente procesos de separación que permitan recuperar los pigmentos de la mezcla residual en base en antecedentes encontrados, como los expuestos en el presente artículo, para lo cual se cuenta con el apoyo del Tecnoparque del Sena nodo Bogotá en materia de asesoramiento y préstamo de materiales, equipos y reactivos necesarios. La selección de los procesos de separación se llevará a cabo mediante la evaluación de un método multicriterio para la selección de alternativas.
- Se analizarán los resultados obtenidos con el fin de conocer el desempeño de estos procesos y así dar paso a futuras investigaciones que prosigan con el aprovechamiento de esta clase de residuos en materia de diseño de equipos, diseño de productos, aprovechamiento de otra clase de sustancias, entre otros.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su gratitud al grupo de investigación en Procesos Separaciones no Convencionales (GPS) por el apoyo a la investigación.

REFERENCIAS

- Instituto Tecnológico de Óptica, Color e Imagen. (2006). El ecodiseño como factor medioambiental en el diseño y desarrollo de productos. Tintas. Recuperado de <http://www.cigcv.com/gestion-del-diseno/informacion-tecnica/medio-ambiente/i/1097/125/el-ecodiseño-como-factor-medioambiental-en-el-diseno-y-desarrollo-de-productos-tintas>
- Asociación Colombiana de la Industria de la Comunicación Gráfica. (2013). Informe de sostenibilidad 2013. Industria editorial y de la comunicación gráfica. Recuperado de <http://www.andigraf.com.co>
- Asociación Colombiana de la Industria de la Comunicación Gráfica. (2018). Informe de sostenibilidad de la industria gráfica 2017-2018. Recuperado de <http://www.andigraf.com.co>
- Arias, L., y Tamayo, M. (2017). *Desarrollo de una propuesta de recuperación de residuos solventes en la empresa Golden Flex S. A.* (tesis de pregrado). Programa de Ingeniería Química, Facultad de Ingenierías, Fundación Universidad de América, Bogotá D. C., Colombia.
- Ávila, M., Gómez, N., Isaza, A., y Patiño, O. (2017). Informalidad del sector de artes gráficas en el barrio Ricaurte: principales falencias de las Pymes y retos de la industria. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com>
- Correa, F., Tamayo, M., y Arias, L. (2017). Recuperación de solventes de una empresa del sector flexográfico. *Revista de Investigación*, 10(2), 77-90. doi: 10.29097/2011-639X.83
- Ersu, C., Braida, W., Chao, K., y Ong, S. (2004). *Ultrafiltration of ink and latex wastewaters using cellulose membranes*. *Desalination*, 164(1), 63-7. doi: 10.1016/S0011-9164(04)00156-0
- Fullana, A., Pineda, A., y Aracil, I. (2011). Recuperación de tinta a partir de residuos de la industria gráfica. *Ingeniería Química*, 492, 68-70.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (1974). *Norma Técnica Colombiana 762. Pinturas. Disolventes. Determinación de la materia no volátil*. Bogotá D. C.: Icontec.

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (1995). *Norma Técnica Colombiana 619. Método de ensayo para el intervalo de destilación de líquidos orgánicos volátiles*. Bogotá D. C.: Icontec.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (1999). *Norma Técnica Colombiana 4659. Grasas y aceites animales y vegetales. Determinación del contenido de agua. Método de Karl Fischer*. Bogotá D. C.: Icontec.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2016). *Norma Técnica Colombiana 1052. Pinturas, barnices y materias primas para pinturas y barnices. Muestreo*. Bogotá D. C.: Icontec.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2016a). *Informe nacional de generación y manejo de residuos o desechos peligrosos en Colombia 2014–2015*. Bogotá D. C.: Ideam.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2016b). *Informe nacional de residuos o desechos peligrosos en Colombia 2016*. Bogotá D. C.: Ideam.
- Izdebska, J., y Thomas, S. (2015). *Printing on polymers. Fundamentals and applications*. Oxford, Reino Unido: Elsevier.
- Liu, R., Dai, S., Chang, F., Cheng, W., y Shih, Y. (Abril, 2010). Highly efficient PET film-assisted adsorption process for the de-inking of xerographic wastepaper. *Journal of the Taiwan institute of Chemical Engineers*, 41(3), 344-351. doi: 10.1016/j.jtice.2009.10.004
- Ministerio de Industria y Turismo. (2017). Dinámica de la economía mundial y comportamiento en Colombia. Primer trimestre de 2017. Recuperado de <http://www.mincit.gov.co>
- Servicio Nacional de Aprendizaje. (s. f.) Informes mesas sectoriales industria gráfica. Recuperado de <http://observatorio.sena.edu.co>
- Xing, Y., Gui, X., Pan, L., Pinchasik, B., Cao, Y., Liu, J., Kappl, M., y Butt, H. (2017). Recent experimental advances for understanding bubble-particle attachment in flotation. *Advances in colloid and interface science*, 246, 105-132. doi: 10.1016/j.cis.2017.05.019
- Yan, F., Chen, G, Zhu, K., y Yao, R. (2013). Research on recycling and utilization of waste ink. *Advanced materials research*, 800, 67-71. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.800.67
- Zhou, J., Wang, J., Ren, X., Yang, Y., Jiang, B. (2006). Surface modification of pyrolytic carbon black from waste tires and its use as pigment for offset printing ink. *Chinese journal of chemical engineering*, 14(5), 654-659. doi: 10.1016/S1004-9541(06)60130-4