

## **RECUPERACIÓN DE PERCLORETIENO EN INDUCALSA**

***Brito H.***

Docente Investigador Grupo de Investigación Ambiental  
y Desarrollo de la ESPOCH (GIADE)

***Borja D.***

***Moreno N.***

***Parada M.***

***Robalino P.***

Docente Investigador Facultad de Ciencias,

***Mendoza M.***

***Andrade E.***

Colaborador Facultad de Ciencias ESPOCH

---

### **Abstract**

A recovery system for perchlorine ethylene from hazardous liquid waste (Ministry Agreement 026 MAE) which stems from shoe making polyurethane sole washing has been designed (Brito H. / Rodríguez B., 2014). Such waste is directly disposed into the environment, causing losses in flora and fauna (GUARIN, O. / RUEDA, G. / PEREZ, H. 2010). Besides contributing with environmental liabilities, the recovered perchlorine ethylene complies the requirements of the DIRSA safety card, because of what it is reutilized in the manufacture process, which contributes to the decrease of production costs and the conservation of the ecosystem. This hazardous waste should be delivered to an environmental manager before paying for its transportation and final disposal (90 USD per kg of waste). For this reason, INDUCALSA along with ESPOCH researchers carried out a scaling of the recovery system by working with 20 samples of perchlorine ethylene – silicone during a lapse of four weeks. An initial characterization was followed by in – lab recovery to measure the variables (temperature, time, input and output flow) with whom the process was scaled for 45,73 Kg/h of waste. The pH, density, viscosity and IR spectrum of the obtained product were analyzed. They showed the purity of the solvent (Disolventes Reunidas, S.A., 2003), which is acceptable because of its high economic value in the market as well as the contribution to the change of the productive matrix in Ecuador (SENPLADES, 2012).

---

**Keywords:** Hazardous waste, perchlorine ethylene, solvent

---

## **Resumen**

Se diseñó un sistema de recuperación de percloroetileno, del desecho peligroso líquido (Acuerdo Ministerial 026, MAE<sup>55</sup>), procedente del lavado de suelas de poliuretano en la fabricación de zapatos (Brito H. / Rodríguez B., 2014), que es vertido directamente al ambiente, generando pérdidas de flora y fauna (GUARIN, O./RUEDA, G./PEREZ, H. 2010), además de contribuir con pasivos ambientales, este percloroetileno recuperado cumple los requisitos de la ficha de seguridad DIRSA (Disolventes Reunidas, S.A., 2003), por lo que, es utilizado nuevamente en el proceso de fabricación, lo que contribuye a la disminución de costos de producción y conservación del ecosistema. Este desecho peligroso debe ser entregado a un gestor ambiental previo al desembolso por su transporte y disposición final (90 USD/kg desecho), por este motivo INDUCALSA con investigadores de la ESPOCH, efectuaron el dimensionamiento del sistema de recuperación, trabajando con 20 muestras del desecho de percloroetileno - silicona, en un lapso de cuatro semanas, iniciando con una caracterización y posterior recuperación en laboratorio, para determinar las variables (temperatura, tiempo, flujos de entrada y salida) con las cuales, se dimensionó el proceso para 45,73 Kg/h de desecho. Al producto obtenido se realizó el análisis de: pH, densidad, viscosidad, espectro IR, demostrando la pureza del solvente (Disolventes Reunidas, S.A., 2003), mismo que es aceptable por el alto valor económico en el mercado, además de contribuir al cambio de la matriz productiva del Ecuador (SENPLADES, 2012).

---

**Palabras Claves:** desecho peligroso, percloroetileno, solvente

## **Introducción**

El percloroetileno es un solvente estable a temperatura ambiente, se obtiene por cloración de compuestos orgánicos de 1 a 3 átomos de carbono en condiciones de 600 - 800 °C y de 0,2 - 1 MPa, reacciona violentamente con metales alcalinos, alcalinotérreos y aluminio, a 150 °C con el oxígeno del aire forma fosgeno, se descompone por humedad formando vapores tóxico y corrosivo como HCl y ácido tricloroacético.

Las características descritas indican el poder que tiene para contaminar el agua, aire, suelo, así como también generar problemas de salud, debido a que este solvente es descartado en la mayoría de casos como residuo al ecosistema ocasionando daños irreparables en el mismo.

---

<sup>55</sup> Ministerio de Ambiente del Ecuador.

El mercado nacional se ha visto desabastecida de este tipo de solventes por la presencia de la salvaguardias que en la mayoría de casos incrementa su costo, por otro lado, el pago que se debe realizar por la entrega del residuo generado a un gestor ambiental, encarece el costo de producción del calzado, por este motivo, INDUCALSA ha visto la necesidad de disminuir sus contaminantes al ecosistema, de tal manera que exista bienestar de la sociedad (Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017).

El percloroetileno es un compuesto orgánico volátil (COVs) que ha sido clasificado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), entre otras organizaciones, como sustancia sospechosa de ser carcinógena. (Organización Mundial de la Salud)

Este solvente organoclorado, volátil y que se acumula en los tejidos grasos. Los trabajadores y personas que viven cerca de las industrias que los procesan están expuestos a esta sustancia, sufren con frecuencia mareos, vómitos, dolores de cabeza y trastornos nerviosos.

La producción mundial de este producto químico de ancha aplicación alcanzó aproximadamente 1 millón de toneladas en 1985. (ROSSBERG., M et al. 2006)

La producción anual es estimada en 50-100 kilotoneladas en Europa del Este, aproximadamente 55 kilotoneladas en Japón (IARC, 1979), 100-250 kilotoneladas en Europa occidental y alrededor de 350 kilotoneladas en USA.

La disposición incorrecta del residuo por ser muy común genera problemas importantes sobre los organismos vivos principalmente en el medio acuático causando mutaciones; en humanos a partir de 100 ppm produce náuseas, vértigo, sensibilidad, irritación en ojos, vías respiratorias, piel, mucosidades y sobre todo cáncer. (Bates GD Jr., et al. 1994).

En la universidad de Milán, han estudiado la repercusión en el ambiente debida al uso de percloroetileno en dicha ciudad en cantidades que se estiman entre 1500 y 2000 Tm. Este uso inadecuado ha originado una seria contaminación del agua que se utiliza sin tratamiento

(ZIGLIO., G. 1983). Human Environmental Exposure to Trichloro- and Tetrachloroethylene from water and Air in Milan, Italy

En Ecuador la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y la empresa (INDUCALSA) diseñaron un proceso para la recuperación de percloroetileno-silicona del residuo del proceso (percloroetileno (48%) – silicona (52%)), identificando las variables (temperatura, tiempo y flujos de corrientes de ingreso y salida), procesando 45,73 Kg/h de residuo. El producto así obtenido tiene las siguientes características: pH 7,48; densidad 1700 Kg/m<sup>3</sup>; viscosidad 0,88 cP; y el espectro IR, demostrando la pureza del solvente recuperado y comparando con las características del solvente puro

de la ficha de seguridad DIRSA (Disolventes Reunidas, S.A., 2003), además que su recuperación tiene un rendimiento del 62,45 %P (281,04 Kg) y una eficiencia del 85,33 %, del residuo procedente del proceso de lavado de suelas de poliuretano, da una solución al sector de producción de calzado, disminuyendo los impactos al ambiente y al problema de salud pública, ofertando un solvente con características similares a los que se venden en el mercado a costos más bajos.

### **Materiales y métodos**

El trabajo experimental se lo efectuó en los laboratorios de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, (Riobamba) y Laboratorio de Control de Calidad de INDUCALSA (Quito), con el residuo de percloroetileno – silicona procedente de la empresa ubicada en Quito. (INDUCALSA., 1974).

Se procedió a realizar el estudio para la recuperación del percloroetileno del residuo proveniente del lavado de suelas en la empresa INDUCALSA, para esto, se procedió a un muestreo aleatorio simple, con una frecuencia de una toma diaria por un lapso de 4 semanas (5 días/semana) con un total de 20 muestras, con cada una de las muestras se efectuó la respectiva caracterización, determinando que el percloroetileno tiene el 48% y la silicona el 52%.

El proceso de recuperación de percloroetileno se lo realizó con cargas de 80 L del residuo, con un tiempo de residencia para su recuperación de 166 minutos (45,73 Kg/h de residuo), se inicia el proceso con la remoción de materiales gruesos, luego se realizó la respectiva alimentación de 80 L de residuo percloroetileno - silicona en la torre de destilación y se ajustó las variables de proceso: con un rango de temperatura 108 – 138 °C, y la presión atmosférica de 0,71 atmósferas, al producto así obtenido se efectuó el análisis de laboratorio encontrando un pH 7,48; densidad 1700 Kg/m<sup>3</sup>; viscosidad 0,88 cP; y el espectro IR, demostrando la pureza del solvente recuperado y comparando con las características del solvente puro de la ficha de seguridad DIRSA (Disolventes Reunidas, S.A., 2003), además que su recuperación tiene un rendimiento del 62,45 %P (281,04 Kg) y una eficiencia del 85,33 %.

### **Resultados y discusión**

Tabla 1 datos de densidad y ph

DIRSA	OXIQUIM.S.A
<b>DENSIDAD (g/mL): 1,62</b>	<b>pH: 6,4 – 8,4</b>

Realizado por: brito h./andrade w., lab. Operaciones unitarias, esPOCH, lab. Control de calidad inducalsa, 2014

Fuente: hoja de seguridad dirsa, oxiquim.s.a, 2015

Tabla 2 datos sobre componentes de la mezcla

PARAMETRO	UNIDADES	PERCLORETIENO	SILICONA
Cp	Kcal/Kg °C	0,205	1,34
$\lambda$	Kcal/Kg	50,10	123,15
Tb	°C	121	250
$\mu$	cP	0,39	664
$\rho$	Kg/m <sup>3</sup>	1621	1045

Realizado por: Brito h./Andrade w., lab. Operaciones unitarias, Espoch, lab. Control de calidad Inducalsa, 2014

Fuente: hoja de seguridad DIRSA, Oxiquim.s.a, 2015

Mediante el análisis de las muestras, se obtuvieron datos favorables al comparar sus valores con la hoja de seguridad DIRSA-PERCLOROETILENO y OXIQUM.SA con pH 7,48; densidad 1700 Kg/m<sup>3</sup>; viscosidad 0,88 Cp, y el espectro IR de PERC puro y destilado demostró que el líquido recuperado tiene las mismas características que el adquirido por la industria (Aggazzotti., G. et al 1994) y el solvente es apto para ser reutilizado, disminuyendo los costos de producción y menor generación de contaminantes peligrosos para el ambiente y el ser humano. (Disolventes Reunidas, S.A., 2003).

El rendimiento obtenido en el proceso de recuperación de percloroetileno es del 62,45 % P, que representa 281,04 Kg recuperados de cada 450 Kg de residuo generado, es decir, en el residuo de fondo quedan 28 Kg de percloroetileno que no se recuperan, debido a que, hay que incrementar la temperatura sobre los 150 °C, que es el límite para recuperar este producto puro, de esta manera, evitar la reacción química dentro de la operación, lo que resulta muy costoso, el valor económico que tiene el producto a recuperar en el mercado es de 1,33 USD/Kg, con la cantidad recuperada se favorece una menor adquisición del solvente y un ahorro para la industria.

La eficiencia del proceso es del 85,33% indicando que la mayor parte de la energía es aprovechada, y el restante se pierde hacia el exterior por medio de las paredes del equipo y como entalpía del residuo de fondo generado, al emplear un aislante térmico la eficiencia aumenta al 91%.

## Conclusion y recomendaciones

### Conclusion

✓ El proceso de recuperación de percloroetileno permite obtener un producto idéntico al adquirido por la industria, con densidad de 1700 Kg/m<sup>3</sup> y pH de 7,48 que se encuentra dentro del límite de la ficha de seguridad DIRSA y el valor experimental del solvente.

- ✓ La operación se realiza en batch, con un volumen de alimentación de 87,26 L, produciendo 41,16 L de percloroetileno y un residuo de fondo de 45,11 L.
- ✓ Las variables de proceso son: la temperatura óptima de operación de la torre en 122,24 °C, una presión de 710 mmHg, las temperaturas en rango de operación del tanque del equipo es de 108 a 138 °C y la temperatura de trabajo del condensador es de 50,22 °C.
- ✓ El proceso diseñado para la recuperación del percloroetileno tiene un rendimiento del 62,45 %P y una eficiencia energética del 85,33 %.
- ✓ El beneficio para la industria es considerable por pagar menos dinero por disposición final y adquirir menos cantidad de solvente al mercado.
- ✓ También se puede tratar otras sustancias cuya volatilidad relativa sean menores a 3,60.

### **Recomendaciones**

- ✓ El residuo no debe mezclarse con otros componentes.
- ✓ Almacenar en tanques de acero herméticamente el residuo generado por un tiempo máximo de tres meses, hasta realizar la destilación.
- ✓ Durante la operación del equipo utilizar EPP (equipos de protección personal) como gafas, mandil, guantes, mascarilla.
- ✓ Emplear aislante térmico para evitar la pérdida de calor a través de las paredes de la columna hacia el exterior y así tener una eficiencia energética del 91%.

### **References:**

- REED., Ch. E. (2014). *Las siliconas (Química Industrial y sus aplicaciones)*. Cedel, pp. 5-9, 2014-11-25
- ISOPA. (2013). POLIURETANOS EN EL CALZADO. Recuperado de <http://www.polyurethanes.org/index.php?page=calzado> 2013-08-14
- Christina Mcdonald-Legg. (2013). Uso de Percloroetileno. Recuperado de [http://www.ehowenespanol.com/percloroetileno-limpiar-metales-manera\\_259468/](http://www.ehowenespanol.com/percloroetileno-limpiar-metales-manera_259468/) 2014-07-17
- ROBALINO., D. (2012). Diseño De Un Sistema De Destilación Para La Purificación Del Thinner De Los Residuos De Pintura Automotriz En Multiservicios San Andrés. (Tesis) (Ing. Quim). ESPOCH, Ciencias, Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. pp. 157
- NUÑEZ, Marco (2012). Tipos de Destilación. Recuperado de <http://operaciones-unitarias-1.wikispaces.com/Tipos+de+Destiacion> 2013-09-19

- SOLUTEX. (2012). SISTEMAS DE RECICLAJE DE SOLVENTES. Recuperado de [http://www.solutex.co.uk/solvent\\_recycling.html](http://www.solutex.co.uk/solvent_recycling.html)  
2014-03-17
- INSHT. (2012). IDENTIFICACIÓN DE SUSTANCIAS PELIGROSAS. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/PUBLICACIONES%20PERIODICAS/ErgaFP/2012/ergafp81.pdf>
- ADRIANO, S. /VALLE, V. (2012). Diseño Y Construcción De Una Torre De Destilación Con Rectificación Para La Purificación Del Thinner Usado Procedente De Las Mecánicas Automotrices. (Tesis) (Ing. Quim). ESPOCH, Ciencias, Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. pp. 180
- MARIANO. (2011). Tecnología de los Plásticos. Recuperado de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/siliconas.html>  
2013-08-14
- GUARIN, O./RUEDA, G./PEREZ, H. (2010). Manejo de Residuos Líquidos Peligrosos en la Universidad de Santander. Recuperado de [http://www.udesverde.com/PDF/Manejo\\_Residuos\\_Liquidos.pdf](http://www.udesverde.com/PDF/Manejo_Residuos_Liquidos.pdf)
- WANKAT., P. (2008). Ingeniería de Procesos de Separación. 2a. ed., México. Pearson. pp.10
- ROSSBERG, M., et al. (2006). "Chlorinated Hydrocarbons" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH, Weinheim.
- DIRSA (2006). *Ficha de seguridad DIRSA – PERC*. DISOLVENTES REUNIDAS S.A, pp.1-9, 2014-11-25
- Disolventes Reunidas, S.A., (2003). Percloroetileno. Recuperado de <http://www.dirsadisolventes.com/index.php/percloroetileno.html>
- CASTELLS., X. (2000) Reciclaje de Residuos Industriales. Madrid-España. Elías de Santos. pp. 93
- Estrucplan. (2000). MANEJO Y TRATAMIENTO DE SOLVENTES. Recuperado de <http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=1857>  
2014-02-17
- PERRY, R. / GREEN, D.W. (1997). Chemical Engineers' Handbook. 7ª. ed., México D.F-México. Mc Graw Hill. Tomo IV. Sección 13. pp.1-18
- SMITH, J.M. / VAN NESS, H.C. (1997). *Introducción a la Termodinámica*. 5ª.ed., México D.F-México. Mc Graw – Hill. pp. 59-70
- MORRISON/ BOYD, (1998), Química Orgánica. 5a. ed., EE.UU. Pearson. pp. 221-230
- HIMMELBLAU., D. (1997). Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química. 6a. ed., México. Pearson. pp. 150-160
- MCCABE., W. (1995). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 4a. ed., México. Mc Graw Hill. pp. 100-112
- PERRY., R. (1994). Manual del Ingeniero Químico. 6ª.ed., México D.F-México. Mc Graw Hill. Tomo IV. Sección 13. pp.13-29

- PERRY, R. (1994). Manual del Ingeniero Químico. 6a. ed., EE.UU. Mc Graw Hill. pp. 100
- Bates GD Jr., et al. (1994). Determination of skin:air partition coefficients for volatile chemicals: experimental method and applications. *Fundam Appl Toxicol.*, 22: 51-7
- Aggazzotti G., et al (1994). Indoor exposure to perchloroethylene (PCE) in individuals living with dry- cleaning workers. *Sci Total Environ.* pp. 156: 133-7
- RIVEROS, H. (1983). Destilador de Doble Efecto para Laboratorio, *Revista de la Sociedad Mexicana de Instrumentación.* Vol., N° 1. México, pp. 33-38
- ZIGLIO, G. (1983). Human Environmental Exposure to Trichloro-and Tetrachloroethylene from water and Air in Milan, Italy
- Treybal R., (1980). *Operaciones de Transferencia de masa.* 2ª.ed., México D.F-México. Mc Graw – Hill. pp. 378-510
- OCÓN, J. (1980). Problemas de Ingeniería Química. 4a.ed., México. Aguilar. pp. 133-177
- INDUCALSA., (1974). INFORMACIÓN. Actividad y ubicación de la Industria. Quito-Ecuador. pp. 1