

## DISMINUCIÓN DE EMISIONES DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COVs) IMPLEMENTANDO PML EN LA FABRICACIÓN DE PIEZAS DE PLÁSTICO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO

### Organic Compounds Volatiles Emissions decrease - VOC implementing cleaner production in the manufacturing of pieces reinforced plastic with fiberglass

#### RESUMEN

En la empresa Busscar de Colombia S.A se emplea cloruro de metileno, utilizado en la fabricación de Piezas de PRFV - Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio, en la limpieza de herramientas y pistolas para la aplicación de resinas, del Gel coat y de pinturas, además de otras actividades de limpieza de piezas y algunas superficies de los moldes. Dicho compuesto tiene una velocidad de evaporación alta, generando emisiones al aire de COV-Compuestoss Orgánico Volátiles, altamente nocivo para la salud de los trabajadores y pérdidas económicas por la evaporación de ésta materia prima. Se desarrolló una tecnología de PML - Producción Más Limpia, por medio de la implementación de un Safe Tainer que logro disminuir la evaporación del cloruro de metileno de 18% al 5%. Lo que representó una disminución del 13% en el consumo promedio día. Para el caso del estireno la disminución fue del 30% por día.

**PALABRAS CLAVE:** COV-Compuestos Orgánicos Volátiles, Cloruro de Metileno, PML-Producción Más Limpia, plástico reforzado con fibra de vidrio, emisiones, contaminación.

#### ABSTRACT

In Busscar de Colombia SA company uses methylene chloride, which is used in the manufacture of parts Reinforced Plastic Fiberglass, for cleaning tools and spray guns of resins, gel coats and paints as well other parts cleaning activities and some of these areas, such compound has a high evaporation rate that generates emissions to air of VOC – Volatile Organic Compound, being highly detrimental to the health of employees, and losses of raw material. itself development a technology of clean production, was implemented a container (Safe Tainer) that will reduce VOC emissions to air, and also represents a significant savings in raw material consumption of the 18% to 5%, that represented a decrease of the 13% per day. For the estireno the decrease was of the 30% per day.

**KEYWORDS:** VOC-Volatile Organic Compounds, cleaner production, plastic reinforced with fiberglass, air emissions, pollution.

### 1. INTRODUCCIÓN

Este artículo es realizado en el marco del proyecto “Desarrollo, implementación y monitoreo de tecnologías de producción limpia en el proceso productivo del área de plástico reforzado con fibra de vidrio de la empresa Busscar de Colombia S.A” [1], proyecto ejecutado por la Universidad Tecnológica de Pereira por medio del Centro Regional de Producción Más Limpia del Eje Cafetero y cofinanciado por Colciencias.

El proyecto es realizado debido a las necesidades evidenciadas en la empresa, donde en el proceso industrial de la fabricación de piezas de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) se requieren de materias primas que son altamente contaminantes, debido a su composición química, afectando directamente la salud humana [7][9]. Una de las principales materias primas utilizadas es el cloruro de metileno, utilizado para la limpieza de diferentes herramientas implementadas en el proceso productivo, compuesto considerado como residuo peligroso de acuerdo a la normatividad colombiana vigente[2].

#### JORGE AUGUSTO MONTOYA A.

Ingeniero Mecánico, M.Sc, Ph.D.  
Profesor Asociado  
Universidad Tecnológica de Pereira  
Centro Regional de Producción Más Limpia del Eje Cafetero  
jorgemontoya@utp.edu.co

#### HECTOR ALVARO GONZÁLEZ B.

Ingeniero Mecánico, M.Sc.  
Profesor Asociado  
Universidad Tecnológica de Pereira  
Grupo de Investigación de PML  
hagonza@utp.edu.co

#### JULIÁN ANDRÉS OSSA

Ingeniero Ambiental, Esp.  
Profesional de apoyo investigativo  
Centro Regional de Producción Más Limpia del Eje Cafetero  
Universidad Tecnológica de Pereira  
julian.ossa@produccionmaslimpia.org

El artículo tiene como contenido una metodología explicando los pasos que se tuvieron en cuenta para alcanzar los resultados, un diagnóstico, donde se identifica la problemática ambiental encontrada, se describe el diseño y funcionamiento del Safe Tainer, se muestran los resultados obtenidos por la implementación y finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En primer lugar se investigaron las diferentes opciones que existen para hacer un manejo adecuado del cloruro de metileno y de los COVs en general. Cuando se optó por un contenedor sellado herméticamente, se diseñó el primer prototipo, se construyó y se hicieron los primeros ensayos de evaporación del cloruro de metileno, los cuales permitieron encontrar diferentes inconsistencias en la fabricación del equipo. Se hicieron las correcciones necesarias y de nuevo los ensayos de evaporación del cloruro de metileno, arrojando resultados que llevaron a tomar la decisión del segundo prototipo como el definitivo, por reducir significativamente las emisiones al aire y permitir un ahorro en el consumo.

Para alcanzar los resultados que se obtuvo durante la realización del proyecto de investigación, se utilizó la metodología “Análisis de la Producción más Limpia” (APML), propuesta por el United Nations Environment Programme (UNEP); **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

En la empresa existe una gran demanda de solventes, entre estos el cloruro de metileno y thinner utilizado principalmente para la limpieza de herramientas empleadas en el proceso de laminado (rodillos y brochas). El problema con el cloruro de metileno es su alta velocidad de evaporación (a 20-30 °C > 2,4 kg/h·m<sup>2</sup>) debida a sus bajas presiones de vapor (<0.3 kPa a 20°C); estos datos, dan una idea de las emisiones que se presentan y los daños a la salud humana y al ambiente que pueden causar [6].

Para medir las problemáticas ambientales en cuanto a la generación de emisiones atmosféricas, según la Resolución No. 2400, Título III, Capítulo VIII, Artículo 154, de mayo 22 de 1979, del Ministerio de Salud Pública [3] se estipula que para Colombia aplican los Valores Límites Permisibles (TLV’s) recomendados por la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) [3].

De acuerdo a los valores límites permisibles, se aplica el índice de riesgo, que resulta de la división entre la concentración estándar y el valor límite permisible como se muestra en la ecuación 1:

$$IR = \frac{\text{Concentración Media Ponderada}}{TLV \text{ corr}}$$

**Ecuación 1. Índice de riesgo**

En la tabla 1 se presenta la clasificación del índice de riesgo, el cual representa el número de veces en que la concentración obtenida en las muestras tomadas supera el valor límite umbral TLV, de acuerdo a este valor se han definido los siguientes criterios de decisión:

|                           |                    |                               |
|---------------------------|--------------------|-------------------------------|
| <b>IR &gt; 1</b>          | Alta Peligrosidad  | Se requiere control inmediato |
| <b>0.5 &lt; IR &lt; 1</b> | Mediana Exposición | Se requiere control           |
| <b>IR &lt; 0.5</b>        | Baja Exposición    | Mantener condiciones          |

**Tabla 1. Índice de riesgo según ACGIH. Fuente: ACGIH**

De acuerdo a lo anterior se pudo evaluar el índice de riesgo según los TLV-TWA para área de laminado, que es donde se presenta el mayor consumo de cloruro de metileno. Las mediciones de las concentraciones de los diferentes contaminantes evaluados fueron realizadas por la Asociación Colombiana de Higiene Ocupacional y Ambiental (ACHO), en la tabla 2 se presentan los resultados [5]:

| Sitio de evaluación | Concentración ppm (cloruro de metilo) | IR promedio |
|---------------------|---------------------------------------|-------------|
| Tradicional         | 24,7                                  | 0,63        |

**Tabla 2. Concentraciones de cloruro de metilo. Fuente: ACHO**

Las concentraciones de cloruro de metileno (COV) en el área de tradicional según tabla 2, no sobrepasan los valores límites permisibles, sin embargo, el índice de riesgo revela que hay una mediana exposición de los trabajadores de esta área y por tanto requieren de control de la contaminación.

De acuerdo al estudio realizado, se demuestra que en la empresa se generan altas concentraciones de compuestos orgánicos volátiles, afectando de manera directa la salud de los trabajadores de la empresa y el medio ambiente en general.

Se realizó un estudio buscando los posibles mecanismos para disminuir las emisiones de cloruro de metileno, llegando a la conclusión de que mantener los solventes en recipientes cerrados Safe Tainer (contenedores de seguridad) es la mejor opción para el manejo de solventes. De esta manera se diseñó un equipo llamado Safe Tainer. En la figura 1 se presenta el esquema del Safe Tainer y las partes por el que está compuesto.

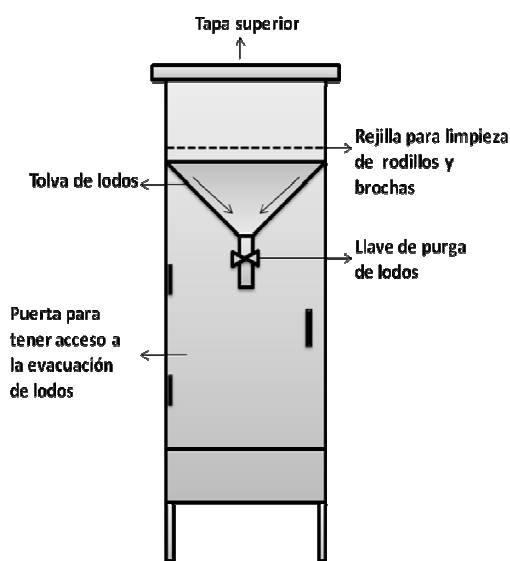


Figura 1. Partes del Safe Tainer

A continuación se hace una descripción del equipo[10]:

**Rejilla removible:** donde se permite un poco de fricción con rodillos y brochas para permitir el ingreso del solvente a las pequeñas rendijas o zonas de difícil acceso.

**Contenedor de liquido en forma v:** construido en lamina hot rolled para permitir precipitación de grumos o contaminantes para posterior decantación (purga de lodos).

**Llave de paso de 1/2':** para evacuar lodos o contaminantes precipitados.

**Tapa metálica superior:** para lograr hermeticidad y disminuir la rata de evaporación. Dicha tapa sella herméticamente gracias al empaque esponjoso que contiene.

**Tapa metálica lateral:** Permite el ingreso a una pequeña zona de almacenamiento de accesorios y al acceso de la llave de purga de lodos.

En la figura 2 se muestra el ANTES (sin Safe Tainer) y el DESPUÉS, ya con la fabricación e implementación del Safe Tainer en el área de plásticos de la empresa.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Disminución de las Emisiones de cloruro de metileno (COV)

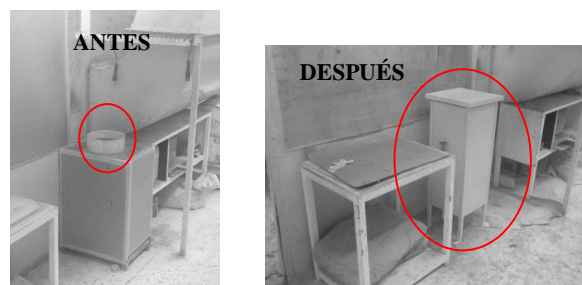


Figura 2. Recipiente de cloruro de metileno antes y después de implementado el Safe Tainer

Inicialmente se toma como referencia la cantidad de evaporación con el cloruro de metileno en el Safe Tainer con el método actual de trabajo, ver figura 2 antes, con el recipiente abierto. En este estudio se realiza el muestreo en 5 días seguidos con un periodo de 24 horas para la toma de los datos. En la tabla 3 se muestran los datos obtenidos de la evaporación del cloruro de metileno en el Safe Tainer “abierto” antes de realizar alguna corrección; su superficie de contacto es de 27 cm x 27 cm = 0,079m<sup>2</sup>.

| Fecha      |            | Cloruro de metileno (L) | % evaporación |
|------------|------------|-------------------------|---------------|
| 07/07/2008 | 08/07/2008 | 8,25                    | 15%           |
| 08/07/2008 | 09/07/2008 | 7,00                    | 19%           |
| 09/07/2008 | 10/07/2008 | 5,69                    | 17%           |
| 10/07/2008 | 11/07/2008 | 4,75                    | 20%           |
| 11/07/2008 | 12/07/2008 | 3,81                    |               |
| PROMEDIO   |            |                         | 18%           |

Tabla 3. Volumen evaporado de Cloruro de Metileno al aire libre

Cómo los porcentajes de evaporación son tan altos, se implementa el Safe Tainer, ver figura 2 DESPUÉS y se evalúa nuevamente la rata de evaporación con el Safe Tainer, los resultados se presentan a continuación, en la tabla 4.

| Fecha      |            | Cloruro de metileno (L) | % evaporación |
|------------|------------|-------------------------|---------------|
| 27/06/2008 | 28/06/2008 | 8,25                    | 12%           |
| 01/07/2008 | 02/07/2008 | 7,25                    | 12%           |
| 02/07/2008 | 03/07/2008 | 6,4                     | 13%           |
| 03/07/2008 | 04/07/2008 | 5,55                    | 15%           |
| 04/07/2008 | 05/07/2008 | 4,7                     |               |
| PROMEDIO   |            |                         | 13%           |

Tabla 4. Volumen evaporado de Cloruro de Metileno en Safe Tainer antes de corregir



Figura 3. Recipiente de cloruro de metileno, los círculos muestran las imperfecciones que ocasionan fugas

En la figura 3 se muestran las imperfecciones en la tapa del Safe Tainer, ocasionadas por defectos en los cordones

de soldadura que impidían un adecuado sellado. Todos estos defectos se corrigieron para mejorar la hermeticidad del sistema.



**Figura 4. Recipiente de cloruro de metileno, los círculos muestran las pestañas de soporte de la rejilla**

Por otro lado en el estudio experimental se determinó que las pestañas que soportaban las rejillas se encontraban muy altas y cuando se necesitaba mover el contenedor con un volumen muy grande de cloruro de metileno, ocasionaba mayor evaporación por agitación, se decide poner las pestañas al nivel donde termina la forma en V del contenedor, cómo se muestra en la figura 4.

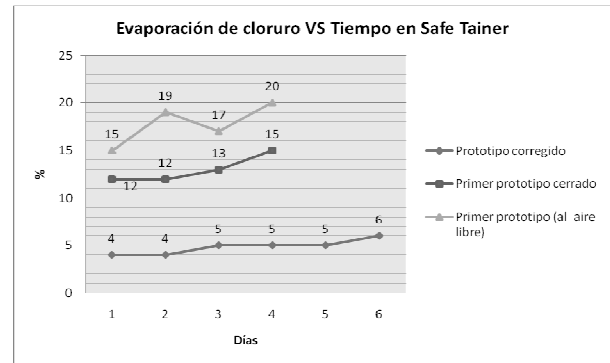
Una vez realizada las correcciones, se realiza la misma practica pero esta vez con el Safe Tainer cerrado y se toman los datos por 7 días consecutivos, ver tabla 5.

| Fecha      | Cloruro de metileno (L) | % evaporación |    |
|------------|-------------------------|---------------|----|
| 17/07/2008 | 18/07/2008              | 8,08          | 4% |
| 18/07/2008 | 19/07/2008              | 7,745         | 4% |
| 21/07/2008 | 22/07/2008              | 7,4075        | 5% |
| 22/07/2008 | 23/07/2008              | 7,07          | 5% |
| 23/07/2008 | 24/07/2008              | 6,715         | 5% |
| 24/07/2008 | 25/07/2008              | 6,4           | 6% |
| 25/07/2008 | 26/07/2008              | 6             | 6% |
| PROMEDIO   |                         | 5%            |    |

**Tabla 5. Volumen evaporado de Cloruro de Metileno en Safe Tainer corregido**

Por medio de la implementación del Safe Tainer se logro disminuir la evaporación del cloruro de metileno de 18% a 5%. Adicionalmente los consumos bajaron a la mitad debido al reciclado en el sistema de tolva de lodos, donde se reutiliza parte del cloruro que ha sido usado.

En la figura 5 se puede observar los diferentes ensayos realizados para determinar los porcentajes de evaporación del cloruro de metileno con el método que se utilizaba (al aire libre), con el primer prototipo y con el prototipo corregido definitivo. El promedio de disminución de la evaporación del cloruro para los 4 días de ensayos es de un 13.3 % [10].



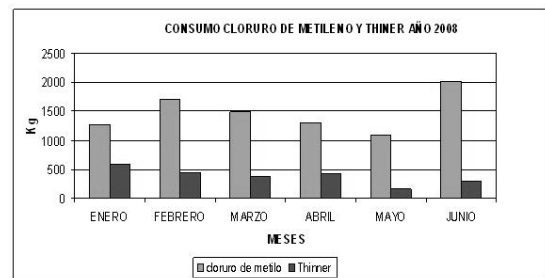
**Figura 5. Evaporación de cloruro de metileno VS tiempo en safe tainer. Fuente: Elaboración propia a partir de información de Busscar de Colombia**

Notese que la disminución de la rata de evaporación pasa de un 13% a un 5% del total de cloruro de metileno utilizado, de este modo, se estima que se pasaría de 192 Kg. evaporados a 74 Kg. evaporados mensuales o sea una reducción de 118,45kg / mes equivalente a 61,5% con respecto al equipo anterior.

% Redu. Emisiones (Re):  $\frac{100\% \times \text{kg emisión antes safe tainer}}{\text{kg emisión con Safe Tainer}}$

% Re:  $100\% \times 74 \text{ kg.} / 194.5 \text{ kg.} = 61,5\%$ .

Posteriormente se elaboraron 4 Safe Tainer restantes para distribuir en la toda la planta producción y se realizó el seguimiento respectivo a los consumos.



**Figura 5. Consumo mensual de cloruro de metileno en un semestre**

De la figura 5, se deduce que el consumo promedio mes de cloruro de metileno en la empresa es de aproximadamente 1909 kg/mes de acuerdo a estudios realizados en el 2008 por la empresa, que equivalen a un costo de \$ 6'146.135 [1]. De acuerdo al ahorro que se presenta por la reutilización, que es de aproximadamente la mitad, más la reducción de las perdidas por evaporación, en términos de dinero seria de aproximadamente \$ 3'890.513 /mes y \$ 46'686.157 / año. Esta cifra muestra la importancia de la implementación del Safe Tainer, no solo en el componente económico, sino también en la mejora de la

salud de los empleados y la reducción de la contaminación del aire.

Los costos de implementación de ésta tecnología de PML, para los cinco Safe Tainer, fueron del orden de \$ 300.000 /Safe Tainer, para el total de Safe Tainer fue \$1.500.000. De acuerdo a los ahorros mencionados en el párrafo anterior, el ahorro diario es de \$127.907, lo que significa que la inversión se pagó en doce días.

### 3.2 Disminución de las Emisiones de estireno (COV)

#### Cambio de resina utilizada en proceso de laminado TIX 181 a Diciclopentadieno (DCPD- P 436)

El primer paso realizado para disminuir las concentraciones de estireno en el proceso de laminado, fue estudiar con el proveedor la posibilidad de utilizar una resina con menos contenido de estireno y así disminuir las emisiones de COV.

De esta manera se realizaron ensayos por primera vez con la resina de Diciclopentadieno (DCPD- P 436) de bajo contenido de estireno, la cual no solo reduce aproximadamente en un 30% las emisiones de estireno, sino que también tiene otras propiedades que mejoran la calidad de las piezas de PRFV [8], además que tiene el mismo costo que la resina estándar. Algunas propiedades de ésta resina son:

- Baja viscosidad y por tanto posibilidad de un bajo contenido en estireno.
- Buena humectación de la fibra de vidrio y aceptación de cargas, incluso con un bajo contenido en estireno.
- Buena calidad de superficie de las piezas finales debido a la baja contracción de la resina.
- La fibra de vidrio es menos visible que en los laminados hechos con resinas estándar.
- Alta temperatura de distorsión.
- Permite tanto laminados finos como gruesos.
- Las resinas DCPD tienen olor diferente.

En la figura 6 se observa las emisiones de estireno que se generan con la resina de Diciclopentadieno con bajo contenido en estireno y una resina estándar. Con la resina Diciclopentadieno se disminuyen las emisiones en 20 ppm que equivale a bajarlas en un 30 % aproximadamente.

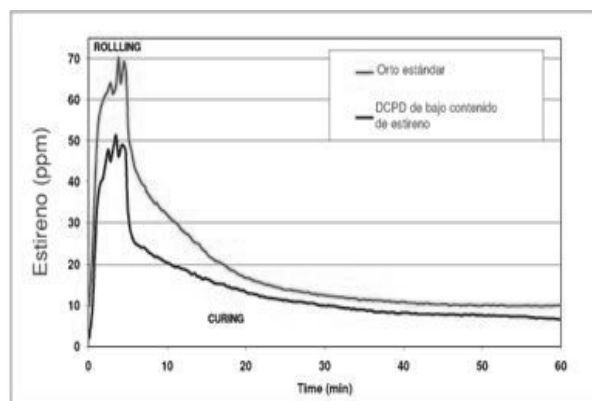


Figura 6. Emisiones de estireno resina estándar vs resina de Diciclopentadieno [8].

El cambio de resina mejoró significativamente el ambiente laboral de los trabajadores y del medio ambiente en general.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las siguientes son algunas de las recomendaciones que se deben tener en cuenta, para la operación de la tecnología de PML para el manejo del cloruro de metileno:

1. Mantener los recipientes cerrados el mayor periodo posible.
2. Permitir la precipitación de los “grumos” o contaminantes para una fácil separación.
3. Permitir mayor número de limpieza de utensilios con la misma solución, hasta saturación.
4. Mejorar la calidad visual del entorno.
5. Optimizar la distribución espacial de las áreas.
6. Lograr un impacto económico significativo en los consumos de solventes.
7. Permitir la separación del cloruro de metileno en la fuente para posterior reutilización.

La implementación del Safe Tainer en la empresa generó cambios positivos, disminuyendo de manera significativa los impactos ambientales causados por la evaporación del cloruro de metileno.

Se mejoró las condiciones laborales de trabajo de sus empleados y por tanto la salud de estos, además de traer beneficios económicos a la empresa, representados en el ahorro del consumo de materia prima y en la disminución de la evaporación del cloruro de metileno en un 13%, lo que representó para la empresa un ahorro aprox. \$ 46'686.157 / año.

En cuanto a las emisiones de estireno, las emisiones se disminuyeron en un 30%, con la implementación de PML, sólo con el cambio de la materia prima.

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] CRPML-Proyecto “Desarrollo, implementación y monitoreo de tecnologías de producción limpia en el proceso productivo del área de plástico reforzado con fibra de vidrio de la empresa Busscar de Colombia S.A”. Universidad Tecnológica de Pereira. Octubre de 2007.
- [2] Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005. Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
- [3] Resolución No. 2400, Título III, Capítulo VIII, Artículo 154, de mayo 22 de 1979, del Ministerio de Salud Pública
- [4] TLV's and BEI's for Chemical substances and Physical Agents, ACGIH, United States of America, 2001.
- [5] ACHO -Asociación colombiana de higiene ocupacional y ambiental. Informe de evaluaciones de concentraciones de compuestos químicos Busscar de Colombia S.A. Pereira, enero de 2007.
- [6] Programas de tutela de producto (product stewardship) de isopa. Cloruro de metileno. Página web:  
[http://www.isopa.org/walkthetalk/Suppl\\_es.pdf](http://www.isopa.org/walkthetalk/Suppl_es.pdf), última visita, marzo de 2009.
- [7] Guía para la salud y la seguridad N° 6. Cloruro de Metileno. Programa internacional de seguridad de las sustancias químicas. Centro Panamericano de ecología humana y salud – Organización mundial de la salud. Metepec, estado de México, México, 1996.
- [8] Nissilä Pirjo. Product Development Manager, Europe Ashland Specialty Chemical Company Composite Polymers. Ashland Specialty\_Chemical Hispania, S.L., 2005.
- [9] Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades. Resumen de salud pública. Cloruro de Metileno. EE.UU, septiembre de 2000.
- [10] Informe Prototipo Safe Tainer. Busscar de Colombia. Julio de 2008.
- [11] UNEP - United Nations Environment Programme, metodología para el “Análisis de la Producción más Limpia” (APML), 1997