

# Selection of materials through the LCA\* for pipes' threaded unions

Carlos Eduardo Fúquene

BS Industrial Engineering, Pontificia Universidad Javeriana. Master of Environmental Management. Portland State University (Oregon, USA). Director of Zentech Research Group and assistant professor of Productive Processes Department at Pontificia Universidad Javeriana. E-mail: [cfuquene@javeriana.edu.co](mailto:cfuquene@javeriana.edu.co).

Nazly Córdoba

BS Industrial Engineering, Pontificia Universidad Javeriana. Research Assistant of Productive Processes Department at Pontificia Universidad Javeriana. E-mail: [nazly.cordoba@javeriana.edu.co](mailto:nazly.cordoba@javeriana.edu.co)

**Keywords:** Life Cycle Assessment, PVC, Brass, Pipes threaded unions

Materials selection for product manufacturing has traditionally taken into consideration markets research and design for fulfilling specifications in order to satisfy customer needs in a favourable cost benefit indicator. Nevertheless, environmental variables have been considered just recently. A highly market requirement for lower environmental impact products, more strict regulations concerning contamination control and the inclusion of the environmental aspect within the globalized trade have forced industry to be aware and to take solid actions towards the prevention of contamination. *Objectives:* To evaluate environmental impacts of threaded unions for pipes through their life cycle in order to support materials selection applied to a specific case in Bogotá, Colombia.

*Methodology:* Research began with materials processing study in order to collect and analyze processing data from extrusion (plastics) and casting (metals) in companies dedicated to these manufacturing activities. After this stage, PVC and brass bars were machined for getting threaded unions prototype at the Industrial Automation Technological Center at Javeriana University. The process developed at the lab facilities differs from the traditional process at the industry, related to the fact that industry does not obtain these threaded unions from pipes. Data was analyzed through an information tool for Life Cycle Analysis. *Discussion:* PVC and brass compete in accessories for pipes having plastic pipes a major acceptance in Colombia because of cost issues. Colombian society is impelling efforts in order to provide an infrastructure for adequate treatment of plastic residuals. In an informal way, small enterprises recycle used polymers for their industrial processes. The use of databases with lack of information about the region constitutes a pitfall but at the same time an opportunity to investigate and collect information about our region that can help other researchers around the world.

*Conclusion:* Manufacturing companies consulted are not prepared to test and change their processes in order to select a materials composition under different scenarios for achieving a low impact production performance, confirming that the rule for a market survival still prevails in some sectors rather than environmental culture. On the other hand, in future research projects, it is possible to work in a conjunction project with companies for the improvement and control of industrial processes to diminish their environmental effects. It was observed at the analyzed processes that the use of recycled material has an important influence to the environmental products evaluation.

\*LCA: Life Cycle Analysis

## **1. Introducción**

Las perturbaciones ambientales de origen humano evidenciadas en los niveles de contaminación actuales de aire y agua así como los niveles de generación de residuos que han alcanzado en la ciudad de Bogotá cifras de aproximadamente 6500 Ton/día así como el cuidado de su disposición en rellenos sanitarios, han llevado a la sociedad y las industrias a realizar un proceso reflexivo sobre la sostenibilidad del hombre y de la naturaleza bajo las condiciones actuales de los sistemas productivos. Se ha cernido una gran preocupación por la preservación de las generaciones futuras y la forma en que la interacción actual de los diferentes actores de la sociedad permitirá o no su supervivencia en el largo plazo.

Diferentes acciones han sido planteadas para preservar el planeta de la contaminación, gran parte de ellas emprendidas una vez los diseños de los productos y los procesos han sido implementados en las compañías. Los requerimientos técnicos de los productos han sido originados en la búsqueda de la satisfacción de los clientes y las restricciones tecnológicas productivas de la organización sin embargo los requerimientos ambientales de la sociedad son vistos como una exigencia legislativa antes que un componente esencial de la fase de planeación de la producción de un bien.

La visión de la contaminación como un hecho puntual de afectación ambiental solo constituye una porción de los retos de la sociedad para preservar la naturaleza. Se hace necesario tener en cuenta el aprovechamiento adecuado de los recursos, el empleo de tecnologías limpias, el uso del bien por parte del consumidor y su disposición una vez ha finalizado su ciclo de vida útil. La visión sistémica del producto, de los procesos, de la organización y del consumidor permitirá a los actores de la sociedad tomar acciones eficaces para la protección de los ecosistemas.

El análisis de ciclo de vida de producto permite a las industrias poder “evaluar los aspectos medioambientales y los potenciales impactos asociados [1]” de sus productos desde la explotación de materia prima pasando por recepción, almacenamiento y fabricación hasta llegar a la distribución, uso y disposición del producto. El análisis de ciclo de vida es utilizado para “la mejora de productos y el desarrollo de procesos [2]” en las empresas. Mediante este análisis se llega a conocer el consumo de los recursos y el impacto en el ambiente de cada una de las etapas del producto.

La selección de materiales, en la etapa de diseño de producto, determina su procesabilidad, el tipo de tecnología a utilizar, las condiciones de uso, el efecto ambiental generado y la forma de disposición. En esta primera fase reside el grado de sostenibilidad del producto y de los procesos asociados a su fabricación.

## **2. Objetivo**

Evaluar el impacto ambiental de elementos de unión roscados para tubería durante su ciclo de vida, como apoyo a los procesos de selección de composición de materiales, en diferentes escenarios, aplicado a un caso específico en Bogotá, Colombia.

## **3. Metodología**

El análisis se enfocó de acuerdo al conjunto de normas ISO 14040, y experiencias de trabajos como los presentados por Espinosa, Arana y Van Hoof [3] [4] [5]. Se recopiló y estudió la información primaria y secundaria relacionada con el análisis de ciclo de vida y con el producto a desarrollar. Esto incluyó visita a empresas locales procesadoras de plásticos y empresas transformadoras y comercializadoras de metales. Igualmente, se consultaron bases de datos bibliográficas especializadas en los temas de plásticos y metales y se realizaron entrevistas con expertos en los temas específicos del proyecto. Luego fueron identificadas y documentadas las entradas y salidas de cada una de las fases del ciclo de vida del producto elaborando para cada caso el formato de ecobalance (ver tabla 1) incluyendo lo relacionado con la extracción de las materias primas, su transformación, el diseño y fabricación de las uniones roscadas en el Centro Tecnológico de Automatización Industrial, su uso y por último la disposición [6].

Una vez se recopiló la información se crearon cada uno de los procesos en un proyecto del software SIMAPRO® (la información de procesos se apoya en la base de datos Ecoinvent®) para la valoración del impacto ambiental en cada una de las fases y el ciclo completo del producto en cada uno de sus materiales.

### 3.1. Definición del producto y unidad funcional

El producto analizado en el presente artículo es el de uniones roscadas para tubería de ½ pulgada, los cuales son elementos utilizados para la unión entre dos sistemas de conductos de agua. En el mercado se conocen como acoples y en la mayoría de los casos se fabrican a base de polímeros o metales no corrosivos. La Unidad Funcional se define de acuerdo a la NTC-ISO 14040 en el numeral 5.1.2.1 como el “desempeño cuantificado de un sistema producto para usarlo como una unidad de referencia en un estudio de análisis de ciclo de vida” [7].

En nuestro caso la unidad funcional analizada o en estudio, es una unión roscada para tubería que se compone de un elemento hembra y un elemento macho. Esta unidad de medida, corresponde la analizada en cada una de las etapas del ciclo de vida, es decir, la cantidad de materias primas que se necesitan para producir una unión, la cantidad de energía requerida para extraerla o fundirla, sus efectos en un relleno sanitario y así sucesivamente por citar un ejemplo.

### 3.2. Estudio de la unión roscada

A continuación se presenta como se realizó el estudio de la unión roscada para el caso del PVC.

- **Extracción de materias primas y polimerización:** En Colombia, es importado de los Estados Unidos el monómero “cloruro de vinilo” el cual es transformado mediante el proceso de polimerización. Con el fin de modelar esta fase en SIMAPRO® se escogió un proceso que agrupara la extracción de materias primas (petróleo y cloro), su transformación a monómero y por último su polimerización por medio de suspensión.
- **Extrusión:** Se seleccionó una pequeña empresa donde se hicieron las pruebas de extrusión de una barra en PVC de 111 metros de longitud con un peso aproximado de 90 kg. De los 115 kg de materia prima, 25 kg son desechados como torta y pruebas de arranque en la máquina extrusora. En este proceso se tienen en cuenta los consumos de energía generados por cada uno de los motores que componen el proceso, entre ellos el del jalador, la extrusora, la bomba de agua y calentador. Las distancias recorridas por las materias primas desde su fabricación hasta la llegada a la planta, el consumo de cada uno de los insumos y los desechos generados a lo largo del proceso.

Este proceso se analiza de tres formas diferentes, de acuerdo al origen de la materia prima utilizada, es decir, se crea un primer escenario donde se extruye PVC con el 45% reciclado, un segundo escenario con el 100% resina virgen y un tercer y último escenario empleando un 100% de PVC reciclado. En cada uno de los casos la variable transporte varía considerablemente pues al utilizar un porcentaje alto de PVC reciclado se disminuye y evita la importación del monómero.

- **Preparación y mecanizado:** En el Centro Tecnológico de Automatización Industrial se elaboró el diseño del producto apoyado en una herramienta CAD Solid Works® en la cual se generaron los planos de la unión hembra y macho, y por consiguiente los códigos de máquina para programar el torno de control numérico EMCO®. Las barras fueron cortadas en piezas de 60 mm de largo por 25,4 mm de diámetro, para luego ser sometidas a los procesos de taladrado y refrentado como preparación al proceso final de mecanizado por control numérico que le da la forma final al material.
- **Uso y disposición:** En la fase de uso se tiene en cuenta una distancia promedio de traslado en la ciudad de Bogotá para adquirir el producto y llevarlo al sitio de uso. Se asume para la instalación de la unión, que la persona no necesita elementos adicionales como empaques o siliconas para su acabado. Finalmente, se asume que cuando la unión finalice su ciclo de vida útil, ésta será desechada y transportada al relleno sanitario.

### 3.3. Análisis de la unión en Bronce

- **Extracción de materias primas:** Para esta fase se tomó en cuenta que en Colombia, se importa el cobre de Méjico, el zinc y el estaño de Perú. El plomo se explota en una mina al interior del país.

- **Fundición:** En esta fase se analizó el proceso de fundición de una barra de 100 Kg compuesta de 65 Kg de cobre, 34 Kg de zinc, 0,5 Kg de plomo y 0,5 Kg de estaño. Este proceso se analiza de dos formas diferentes, de acuerdo al origen de la materia prima utilizada, es decir, se crea un primer escenario donde se funde bronce con el 92,3% reciclado de cobre y un segundo escenario empleando un 100% de cobre virgen. En cada uno de los casos la variable transporte varía considerablemente.
- **Preparación, mecanizado, uso y disposición:** Manejado de manera similar a los procesos de mecanizado de las uniones de PVC.

### 3.4. Resultados

- **Escenario PVC (100% materia prima virgen):** Los mayores efectos del PVC, de acuerdo con el ciclo de vida planteado, estuvieron relacionados con el consumo de combustibles fósiles y la generación de material inorgánico en suspensión. El consumo de combustibles fósiles estuvo representado en el consumo de petróleo crudo y la obtención de energía a partir de gas natural y petróleo. Las sustancias que intervinieron en los procesos y que tuvieron mayor contribución a la generación de material inorgánico correspondieron a los óxidos de nitrógeno (55%) y a los óxidos de sulfuro (25%) seguido de material particulado (9%), generados principalmente por el transporte utilizado para llevar y traer la materia prima (monómero y polímero según el caso) y la producción de PVC mediante la técnica de polimerización por suspensión. Con respecto al consumo de combustibles fósiles, éstos se relacionaron principalmente con la producción de PVC mediante la técnica de polimerización por suspensión y el tipo de diesel utilizado para el transporte del polímero.
- **Escenario PVC (45% materia prima reciclada):** Los mayores efectos del PVC, de acuerdo con el ciclo de vida planteado, estuvieron relacionados con la generación de material inorgánico en suspensión y los efectos en el cambio climático

Las sustancias que tuvieron mayor contribución a la generación de material inorgánico correspondieron a los óxidos de sulfuro (39,4%) y a los óxidos de nitrógeno (34,6%) seguido de los dióxidos de nitrógeno (11,6%). Los dos primeros provinieron principalmente del proceso de extrusión de tuberías en PVC y la producción de PVC mediante la técnica de polimerización por suspensión. Los dióxidos de nitrógeno tuvieron origen en la utilización de energía a lo largo de ciclo de vida de la unión.

Las sustancias que tuvieron mayor contribución en el cambio climático correspondieron a Dióxido de carbono (92,7%) y Metano (5,5%), el primero, afectado por el proceso de polimerización del PVC, el proceso de extrusión y parte el sistema de transporte utilizado para llevar el monómero a la planta y el polímero a la fábrica de extrusión. El metano se originó principalmente del proceso de polimerización y en parte por el residuo llevado al relleno sanitario.

- **Escenario Bronce (92,3% del cobre reciclado):** Los mayores efectos estuvieron relacionados con las categorías de Ecotoxicidad y Acidificación /eutroficación. En la categoría de ecotoxicidad, la contribución se origina primordialmente de la lixiviación del cobre y del zinc en una menor cantidad, tras su disposición final. Otra categoría impactada corresponde a la acidificación de la atmósfera por emisiones de óxido de nitrógeno y dióxidos de sulfuro emanados de la combustión del ACPM utilizado durante el proceso de fundición de metales.
- **Escenario Bronce (100% Materia prima virgen):** Los mayores efectos del Bronce, en este escenario, estuvieron relacionados con la extracción de minerales, la generación de material inorgánico en suspensión y el uso de combustibles fósiles.

Las sustancias que tuvieron mayor contribución al impacto durante la extracción de minerales correspondieron mayoritariamente al Cobre (83,1%), Aluminio (11,6%) y Zinc (5,09%). Las sustancias que tuvieron mayor contribución en el impacto durante la generación de material inorgánico correspondieron a los óxidos de nitrógeno (47,8%), óxidos de sulfuro (32,4%) y material particulado menor a 10 micras (11,4%). Los procesos relacionados con la generación de material inorgánico correspondieron a la fundición del bronce en un 50% y la extracción del cobre en un 34%. El uso de combustibles fósiles se vió afectado por la utilización de gas y petróleo crudo, en los procesos de extracción y transformación del cobre y zinc y el uso de ACPM en el proceso de

fundición. En el tema de Ecotoxicidad el mayor aporte provino de la disposición del producto en su etapa final de su ciclo de vida siendo el cuarto impacto con mayor efecto porcentual de todo el proceso.

#### **4. Selección de materiales por medio de la metodología ACV**

- **Fabricación de la unión en PVC:** En este caso y luego del análisis de los resultados que se mostraron en el anterior numeral, la mejor alternativa de producción según el análisis de ciclo de vida sería la unión roscada en PVC con 45% reciclado, formulación probada en un estudio de investigación previo llevado a cabo en una de las universidades del país.
- **Fabricación de la unión en bronce:** En cuanto a uniones metálicas, el mejor resultado ambiental correspondió a la formulación en el momento de fundir el bronce, que utiliza durante el proceso, el 92,3% del cobre reciclado. No se tuvo en cuenta el reciclaje de otros componentes minoritarios como el zinc, estaño y plomo.

#### **5. Discusión:**

El PVC y el bronce compiten en accesorios para tubería pero por costos el polímero tiene gran acogida en el mercado colombiano.

Por otro lado, encontramos un gran número de pequeñas empresas dedicadas a la recuperación de polímeros que son incorporados en sus procesos industriales y de fabricación. Esta labor que no solo es de gran ventaja para ellos, hablando en términos de costos, es un medio que contribuye positivamente en el medio ambiente y se pudo observar a lo largo del estudio.

La falta de estudios de análisis de ciclo de vida en países latinoamericanos como el nuestro y la escasez de datos necesarios para ello, obligan a investigadores a utilizar bases de datos que no corresponden a la realidad lo que condiciona y afecta los resultados de este tipo de proyectos

En la sociedad colombiana se están iniciando esfuerzos para proveer una infraestructura adecuada en el tratamiento de los residuos de plástico, este tipo de estudios proporcionan información relevante de los daños ambientales que se generan al no disponer y hacer uso correcto de los desechos.

#### **6. Conclusiones**

- La pyme colombiana no se encuentra preparada para desarrollar este tipo de estudios ambientales o de enfocar sus procesos productivos con miras a alcanzar una producción más limpia ya que este tipo de empresas dedican la mayoría de sus esfuerzos a mantenerse en el mercado por lo cual requiere crear políticas económicas y de apoyo a los microempresarios en aras de mejorar su procesos y disminuir su impacto ambiental.
- Las empresas de manufactura consultadas no están preparadas para cambiar sus procesos con el objeto de probar y seleccionar una composición de materiales bajo diferentes escenarios que permitan un menor impacto ambiental, mostrando que prevalece la norma por sobrevivir que una cultura por el medio ambiente. Sin embargo, en futuros proyectos de investigación, se puede trabajar en el control y mejoramiento de los procesos para disminuir los efectos ambientales de los mismos. Se observó en los procesos analizados que la utilización de material reciclado influye en la valoración ambiental de los productos.
- El aporte de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida es de vital importancia al momento de emprender acciones de mejoramiento del desempeño ambiental en un producto por cuanto permite hacer comparaciones de diferentes escenarios del mismo producto en lo concerniente a composición de materia prima reciclada, tipos de procesos utilizados y alternativas de disposición.
- Es necesario apoyar procesos investigativos orientados a la consecución de datos de procesos de manufactura latinoamericanos y colombianos en el que se articule el trabajo del gobierno, de los sectores económicos y académicos con el fin de contar con un mayor acceso a la información de las empresas y fortalecer la cultura empresarial de desarrollo sostenible.

- La participación de las empresas y los diferentes sectores industriales en este tipo de proyectos es de vital importancia para garantizar el acceso a la información y al conocimiento desarrollado por ellos, al cual en este momento se dificulta acceder por políticas de confidencialidad y temor de competencia desleal.
- Los esfuerzos para diseñar y fabricar productos a partir de materiales reciclados debe seguir tomando fuerza, tomando en cuenta los beneficios que ello trae para el medio ambiente, independiente del material seleccionado.

## Referencias

- [1] VIVANCOS B., José. Ecodiseño Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo sostenible. España: Alfaomega, 2004. p. 111
- [2] VIVANCOS BONO, José. Ecodiseño Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo sostenible. España: Alfaomega, 2004. p. 115
- [3] ESPINOSA C., Juan C., “Análisis de ciclo de vida (LCA) del Curacron 500 EC”. Bogotá, Trabajo de grado (Ingeniería Industrial). Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería Industrial. 1999, 152 p.
- [4] ARANA N., Diana M., “Análisis ambiental de Termotasajero S. A., E.S.P. aplicando la metodología análisis de ciclo de vida ACV”. Trabajo de grado (Ingeniería Mecánico). Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería Industrial. 2000, 178 p.
- [5] VAN HOOFF, Bart, “Eco-indicadores para la industria colombiana basados en el concepto de ciclo de vida”. Tesis (Magíster en Ingeniería Industrial). Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería Industrial. 1999, 85 p.
- [6] FÚQUENE R. Carlos E. y CÓRDOBA P., Nazly B. MÉNDEZ F. Sandra, LARA B. Jaime, “Aplicación del análisis del ciclo de vida de producto como apoyo a la toma de decisiones en la selección de materiales para la fabricación de elementos de unión roscados para tubería”, Informe técnico del proyecto de investigación. 2007. Bogotá: Grupo de investigación Zentech y Gestión integral de residuos. Facultad: Ingeniería. Pontificia Universidad Javeriana.
- [7] NORMA TECNICA COLOMBIANA ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL PARA LA ESTANDARIZACION NTC-ISO 14040. Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia. ICONTEC: Bogotá, 2003. 13 p.
- [8] PEÑA U., Claudia y Rozas V., Ingrid. “Metodología de evaluación del impacto del ciclo de vida para la minería: anticipando el futuro”. Chile: Proyecto CIMM-LCA, 2004. Págs. 44
- [9] NIEDERL-SCHMIDINGER, Anneliese y NARODOSLAWSKY, Michael. “Life Cycle Assessment as an engineer’s tool?” En: Journal of Cleaner Production, (2006) 1-8.
- [10] SETAC. Guidelines for Life-Cycle Assessment: A “Code of Practice”. Brussels. 1993
- [11] Heinke G., Henry G. Ingeniería Ambiental. Prentice Hall. México. 2000
- [12] Allenby B. Industrial Ecology. Prentice Hall. New Jersey. 1999
- [13] Eriksson E. Comparative LCA:s for wood construction methods – Energy use and GHG emissions.. Swedish Wood Association. 2003
- [14] Franklin Associates Life cycle inventory of packaging options for shipment of retail mail- order soft goods. Oregon Department of Environmental Quality and US EPA Environmentally Preferable Purchasing Program. 2004