2nd INTERNATIONAL WORKSHOP
ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION
"KEY ELEMENTS FOR A SUSTAINABLE WORLD: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE"

Pollution Prevention in an Auto Assembly Plant in Mexico

J. Esquer [a], N. Elenes[b], A. Zavala[c]

a. Universidad de Sonora, Mexico, javierep@rtn.uson.mx

b. Universidad de Sonora, Mexico, nelenes@correoa.uson.mx

c. Universidad de Sonora, Mexico, azavala@dicym.uson.mx

Abstract

The automotive industry is one of the main contributors to different types of pollutants. For instance, waste from plastics, aluminum, cooper, rags, sandpapers, solvents and paints can be generated. In particular, automotive painting processes generates, among other issues, VOC emissions as paint solvents.

Automotive painting and coating products are formulated by using resins, pigments, volatile organic solvents, and chemical additives. Unfortunately, the automotive coatings process ranks at the top of the emission volume hierarchy. For this reason, knowing the pollution sources and their characteristics in this sector is important for a proper prevention. Several initiatives have been developed worldwide to promote occupational health and safety, and environmental protection through regulations, code of practices, and guidelines for prevention.

The purpose of this paper is to show relevant partial results about a case study that has been conducted into a painting process within an automotive assembly facility in a north-western city of Mexico. This study includes a pollution prevention analysis for such process, based in the US EPA guide to pollution prevention. In addition, a literary analysis on preventive practices at regional and global levels on the subject has been conducted.

The analysis within the painting process focuses mainly in the PRIMER phase which consists of several steps starting with the sanding area and finishing in the manual zone area where paint is applied in areas where robots did not apply it. Some of the wastes from this process are remaining of sandpaper, contaminated rags, and paint and solvent residuals. Particularly, the later represents a critical issue for environmental and occupational health. As a result, one of the main conclusions of the study is that the lack of control of the process is one of the main sources for solvent wastes. This can be improved by controlling application parameters and process variables.

Keywords: Automotive industry; pollution prevention; painting process.

1 Introducción

De acuerdo a May (2004), a nivel global, la industria automotriz es una de las más grandes y más multinacional de todas las industrias. El sector el automotriz de la industria maquiladora ha uno sido de los que más rápido ha crecido en México durante la década de 1980 (Fawcett et al, 1994). Este crecimiento ha traído como

consecuencia un incremento en los impactos ambientales tal como lo expresa la directora de Greenpeace México, Patricia Arendar (2007), "Es importante que las industrias comiencen a responsabilizarse de sus impactos. Los daños en la salud por la emisión de partículas contaminantes, los elevados niveles de ozono y la emisión de gases invernadero que están agravando y acelerando el cambio climático son causados por una industria automotriz sucia".

Tradicionalmente una planta de ensamble de automóviles consiste en soldadura automática de las principales partes del cuerpo del automóvil, la pintura del cuerpo del automóvil, y el ensamble de componentes suministrados para producir un vehículo completo; sin embargo, algunas plantas pueden tener también otras operaciones como lo son el estampado o la producción de motores. Para una planta típica, la fase de pintura es la mayor fuente de preocupaciones ambientales (Rothenberg et al, 2005).

La mayoría de los procesos de pintura en la industria automotriz utilizan solventes y aditivos para las actividades de producción y limpieza. Usualmente, se utilizan solventes tales como Tolueno, Xileno, acetato de etilo y acetato de butilo que son los principales generadores de compuestos orgánicos volátiles (COV). Los COV se emiten desde las cabinas de pintura y hornos, especialmente de la cabina de la fase de PRIMER, siendo ésta una de las principales fuentes de contaminación (Markarian, 2000; Chang et al, 2002).

Es importante mencionar que los COV son solventes que se evaporan o se volatilizan durante el proceso de pintura y que pueden ocasionar problemas a la salud humana. Los COV incluyen solventes diluyentes, de limpieza y reductores. Los solventes mezclados en los revestimientos proporcionan la viscosidad adecuada, el flujo y las características de secado. (EPA, 1997).

Actualmente algunas de las grandes industrias automotrices han desarrollado esfuerzos para reducir o eliminar las emisiones de COV en sus procesos. Por ejemplo, en el 2006, Toyota (2007) redujo la descarga de sustancias sujetas a la ley de Registros de Emisiones y Transferencias de contaminantes (PRTR por sus siglas en inglés) y de emisiones de COV a través de cambios sistemáticos en sus procesos y tecnologías, de la misma manera, esforzándose en la reducción del uso del solvente de limpieza u otras sustancias utilizados en la manufactura de sus automóviles. General Motors (2007) por su lado ha implementado tecnologías de vanguardia en algunas de sus plantas. Ejemplo de dichas tecnologías son los sistemas de retención para el control de compuestos orgánicos volátiles de los hornos de cocción; la reducción del uso de solventes de limpieza y de purga; el uso de agua des-ionizada para purgar el agua "basecoat"; y la aplicación electrostática de alta eficiencia de agua pinturas.

El objetivo de este artículo es mostrar los resultados parciales más importantes del un diagnóstico de prevención de la contaminación sobre alternativas para el residuo generado a partir del proceso de aplicación de pintura en una planta de ensamble automotriz.

2 Metodología

En Octubre del 2008 se inició un estudio en una planta de ensamblado de automóviles en el estado de Sonora, México, para analizar la fase de PRIMER dentro del proceso de pintura y determinar opciones de prevención de la contaminación. Los resultados parciales presentados en este artículo corresponden hasta Marzo del 2009.

Se hizo una revisión literaria de revistas científicas, libros y publicaciones actualizadas respecto al impacto ambiental y prácticas de prevención de la contaminación en la industria automotriz, especialmente en lo relativo al proceso de pintura. Asimismo, se elaboró un diagnóstico basado, en parte, en la Guía de Prevención de la Contaminación de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2001).

El diagnóstico incluye los siguientes pasos: primero, se lleva a cabo una caracterización del proceso donde se determinan, a través de representaciones gráficas, las etapas por los que pasa la carrocería del automóvil en la fase de PRIMER, dentro del proceso de pintura. Estas representaciones gráficas permiten la identificación de las entradas y las salidas, haciendo evidentes los residuos o pérdidas. Esta fue realizada por observación en el proceso de producción. Segundo, se determinan las pérdidas clave y su valor total (en pesos mexicanos – MX$) a través de costos basados en actividad y después se seleccionan oportunidades de prevención de la contaminación a través del principio de Pareto, el cual sugiere que el 80% de los problemas vienen de un 20% de las causas. Las cantidades y costos fueron basados en información proporcionada por la empresa sobre el consumo semanal en cada uno de las etapas de la fase de PRIMER. Como tercer paso, se lleva a cabo un análisis de causa-raíz a través de un diagrama de causa y efecto para determinar el por qué y en dónde ocurren las pérdidas en el proceso. Aquí se involucró a cinco personas que trabajan directamente en el proceso para analizar las causas que pudieran hacer que se consuma o desperdicie el solvente. Finalmente, se establecen alternativas de solución a través de lluvia de ideas y jerarquización de las opciones. En conjunto con el personal involucrado directamente con el proceso, se llevó a cabo una lluvia de ideas para generar alternativas de solución que pudieran disminuir el desperdicio de solvente.

Es importante hacer notar que, dadas las limitantes de tiempo y de recursos, los resultados del caso de estudio presentados en este artículo contemplan solamente hasta la etapa de presentación de propuestas.

3 Resultados

3.1. Caracterización del Proceso

A continuación, como se muestra en la Figura 1, se describe todo el proceso de pintura de la planta de ensamble automotriz, sin embargo, cabe mencionar que el presente estudio se hizo sólo en la fase de PRIMER:

PO4-ECOAT: El proceso inicia con un pre-tratamiento, el cual consiste en el lavado de la unidad con aditivos para eliminar residuos de grasas u otros agentes que puedan afectar la deposición de la pintura. Posteriormente, se aplica una capa de Fosfato (PO4) sobre la carrocería mediante un proceso de inmersión. Una vez que ha sido aplicada, siguiendo un proceso similar al anterior, se hace la aplicación de la capa de pintura, llamada Ecoat ó Electrocoat, mediante inmersión de la unidad sobre la pintura, que a su vez, es depositada sobre la misma mediante un proceso electrostático ó electrodeposición. Una vez aplicado el Ecoat, la carrocería del vehículo entra al proceso de horneo (curado).

SELLO: El proceso de aplicación de selladores consiste en la aplicación de un material que brinda características anti-ruido en áreas del automóvil que no irán cubiertas con algún complemento en su ensamblado final. Una vez que se aplicó el sello a la unidad entra a un proceso de horneo para llegar a la siguiente etapa.

PRIMER: Esta es la fase del estudio y en ella se prepara la unidad para un buen acabado final. Una de las características clave es la protección que proveen los

pigmentos del PRIMER contra los rayos ultravioleta. Asimismo, es un proceso de pintura electroestático en el cual por medio de la electrodeposición de la pintura se obtiene el acabado en la unidad. Esta fase se describe a continuación:

LIJADO DE ECOAT: En esta sección se hace un matizado de la unidad con lijas y trapos, con la finalidad de quitar la contaminación que se adhirió en los procesos anteriores. Asimismo, ésta área es utilizada para hacer reparaciones en la carrocería de la unidad cuando se requiere.

TRAPEADO: Aquí se hace la limpieza de la unidad con trapos, con la finalidad de eliminar el polvo generado del proceso anterior.

EQUIPO BEHR: En esta sección se aplica el PRIMER a la unidad. Está constituido por 9 campanas que se encargan de aplicar al exterior de la unidad el color de fondo asignado dependiendo de la pintura base que llevará la misma.

ROBOT FANUC: Son robots que se encargan de pintar el interior del cofre y de cajuela de la unidad del color final.

ZONA MANUAL: En ella se da el acabado del color en el interior del cofre y la cajuela, aplicando pintura mediante pistolas electrostáticas, en áreas donde el robot no lo ha podido hacer. Una vez que pasa por este proceso, entra a un periodo de horneo, para que cure la pintura y pasar al siguiente proceso.

BASE COAT (COLOR): En esta fase se da una preparación previa a la unidad similar a la anterior con la finalidad de aplicar la capa del color final o base.

CLEAR COAT (BARNIZ): Esta capa de pintura es aplicada por medio de campanas (EQUIPO BEHR), donde la caseta de aplicación está dividida en dos equipos de 9 campanas. Posteriormente pasa a una zona manual, en la cual se hace la aplicación del barniz en los interiores de las puertas. Como paso final, la unidad pasa un horno.

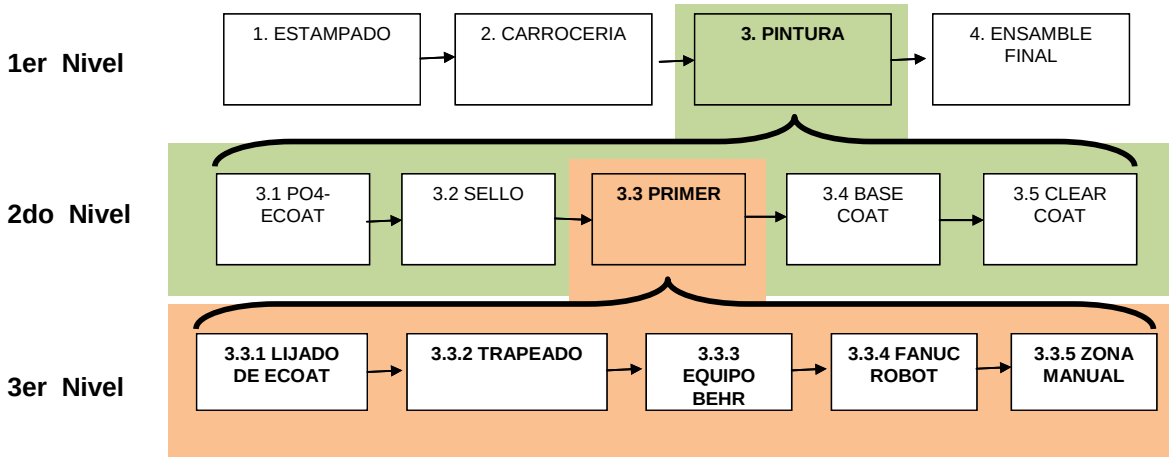


Figura 1. Mapa jerárquico del proceso

Como parte del estudio se hace una caracterización del proceso de la fase de PRIMER (ver figura 2) donde se identifican las entradas y salidas semanales como parte de los insumos que se pierden o se fugan resultando en emisiones o desperdicios.

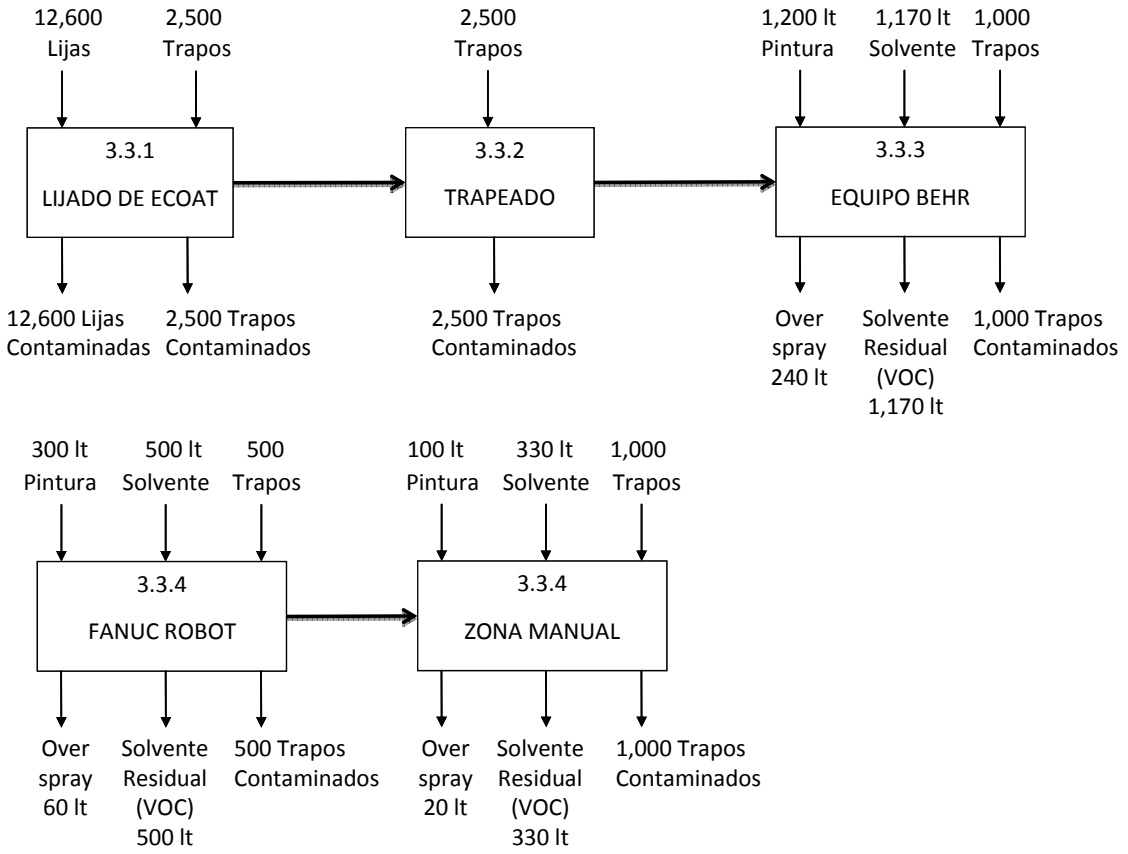


Figura 2. Caracterización del proceso (cantidades semanales)

A continuación, en la Tabla 1, se describen brevemente las características básicas de los materiales utilizados n la fase de PRIMER. Para el caso de las sustancias químicas la información se obtuvo de sus respectivas hojas de datos de seguridad (MSDS):

Tabla 1. Características de los materiales usados en la fase de PRIMER

Material	Características
Pintura (PRIMER):	Punto de Ebullición 247.78 C (+478 F), Punto de Inflamación 5.00 C (+41 F) Presión del Vapor 20 at 20C (+68 F). Ingredientes: N-Butyl Acetate, N-Propanol, Ethylene Glycol Monobutyl, Ether Acetate. Es nocivo al ser inhalado e ingerido, irrita los ojos y la piel, puede ser nocivo o tóxico al ser absorbido por la piel, la inhalación excesiva de este material causa dolor de cabeza, vértigo, nauseas e incoordinación, y puede producir irritación al sistema respiratorio. Este material contiene un producto químico que es un contaminante aéreo peligroso (HAP), regulado por el US Clean Air Act.
Solvente	Punto de Ebullición 177.22 C (+350 F), Punto de Inflamación 19.44 C (+66 F), Presión del Vapor 9.5 C (+49 F) Ingredientes: Xylene (All Isomers), Methyl Isobutyl Ketone, N-Butyl Acetate, Ethylbenzene, Petroleum Naphtha, Light Aromatic, Trimethylbenzene, Toluene, Solvent Naphtha (Petroleum), Light Aliphatic. Es nocivo al ser inhalado, irrita los ojos y la piel, su inhalación excesiva causa dolor de cabeza, vértigo, nauseas e incoordinación, si hay contacto prolongado o repetido puede secar o resecar la piel, y puede producir irritación al sistema respiratorio. Este material contiene un producto químico que es un contaminante aéreo peligroso (HAP), regulado por el US Clean Air Act.
Trapo	Su composición es de tela en base a fibras de polyester y de color blanco.
Lija	Lija 360 color morado

3.2. Determinación de las pérdidas clave y selección de oportunidades de prevención de la contaminación

Después de haber caracterizado el proceso, se determinan la cantidad de materiales clave y los costos de los desperdicios que se generan de manera semanal en cada una de las etapas. En las tablas 2 y 3 se muestra un resumen de los resultados. Las cantidades fueron obtenidas directamente por la compañía en conjunto con el proveedor del material.

Tabla 2. Cantidad semanal de desperdicios por etapa

Material	LIJADO DE ECOAT	TRAPEADO	EQUIPO BEHR	FANUC ROBOT	ZONA MANUAL	Unidades por semana
Lija (unidades)	12,600.00					12,600.00
Trapos (unidades)	2,500.00	2,500.00	1,000.00	500.00	1,000.00	7,500.00
Pintura (litros)			240.00	60.00	20.00	320.00
Solvente (litros)			1,170.00	500.00	330.00	2,000.00

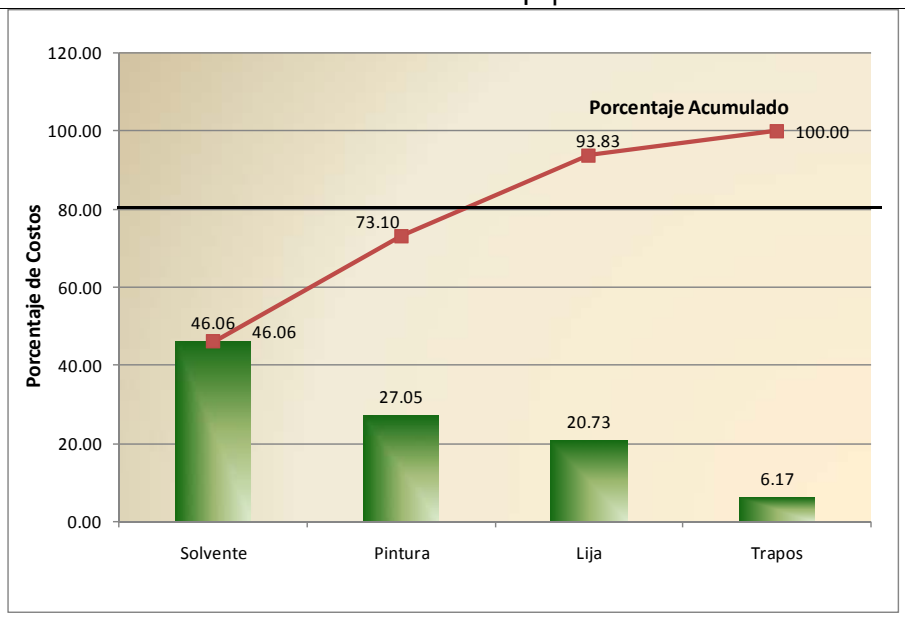
Tabla 3. Costo semanal de desperdicios por etapa (MX$)

Material	LIJADO DE ECOAT	TRAPEADO	EQUIPO BEHR	FANUC ROBOT	ZONA MANUAL	Costo por semana	Porcentaje	Costo unitario
Lija	12,600.00					12,600.00	20.73	1.00
Trapos	1,250.00	1,250.00	500.00	250.00	500.00	3,750.00	6.17	0.50
Pintura			12,331.20	3,082.80	1,027.60	16,441.60	27.05	51.38
Solvente			16,380.00	7,000.00	4,620.00	28,000.00	46.06	14.00
Costo por semana	13,850.00	1,250.00	29,211.20	10,332.80	6,147.60	60,791.60	100.00	
Porcentaje	22.78	2.06	48.05	17.00	10.11	100.00		

Nota: Los costos están en pesos mexicanos (MX$). El tipo de cambio al 13 de Marzo del 2009 es: MX$ 14.51 = US$ 1.00 = R$ 2.30. Fuente: CNN (2009).

A continuación se realiza una gráfica de Pareto (ver Gráfica 1), en el cual se ilustra de manera jerárquica las áreas de oportunidad dentro de la fase de PRIMER. Como se puede ver, el solvente representa el mayor porcentaje de los costos dentro de esta fase, seguido por la pintura, lija y trapos.

Gráfica 1. Pareto del costo semanal de desperdicios (MX$)



3.3. Análisis de causa-raíz

Como resultado de la gráfica de Pareto, se decide enfocar los esfuerzos a la reducción o eliminación del uso del solvente ya que representa el 46% de los costos de desperdicio en la fase de PRIMER. Por tal motivo, se involucró a cinco personas que trabajan en el proceso para analizar las causas que pudieran hacer que se consuma o desperdicie el solvente. De dicho análisis se obtuvo el diagrama de causa-efecto, representado en la Figura 3, en la cual se muestran las distintas posibles procedencias de los desperdicios.

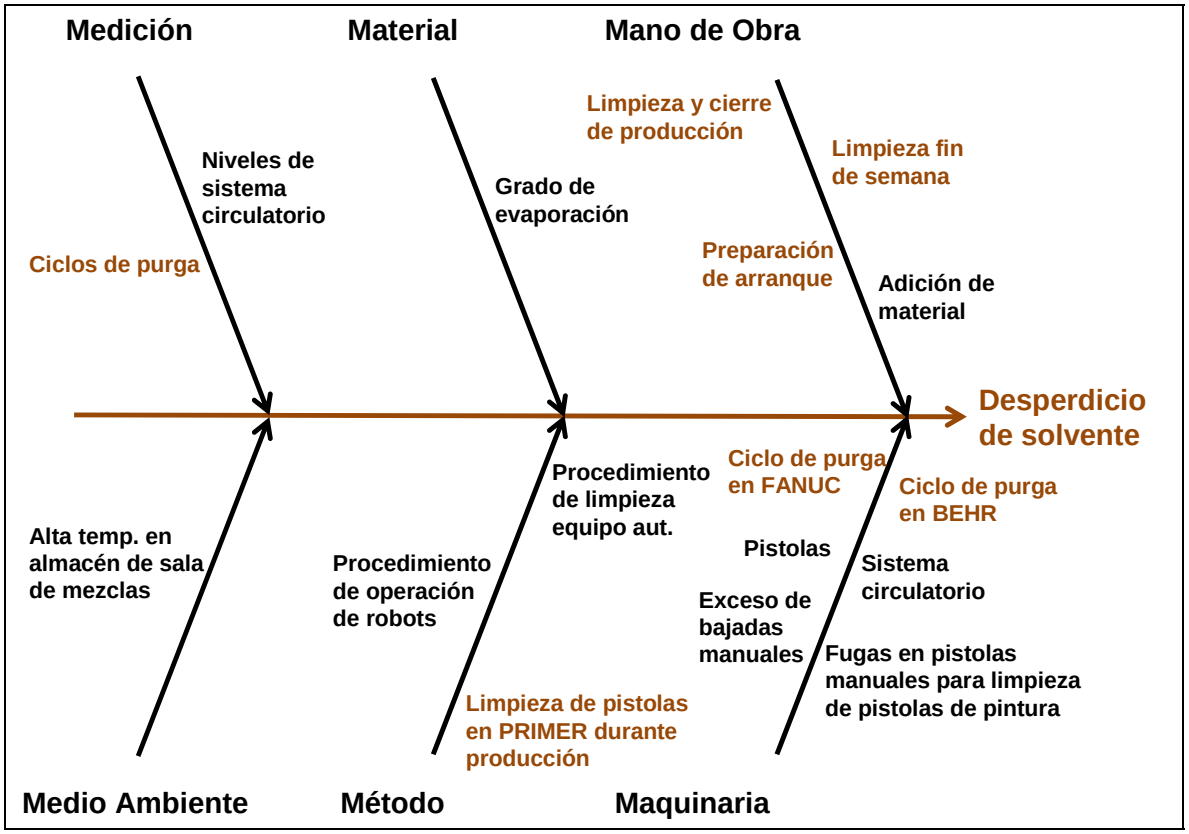


Figura 3. Diagrama de causa-efecto para el consumo de solvente

3.4. Alternativas de solución

Como siguiente paso, en conjunto con el personal involucrado directamente con el proceso, se llevó a cabo una lluvia de ideas para generar alternativas de solución que pudieran disminuir el desperdicio de solvente. Las diferentes alternativas propuestas por el equipo de trabajo se describen brevemente a continuación:

Propuesta 1. Control de niveles y estandarización del proceso: la medición de los niveles diarios en el proceso permitirá hacer un acercamiento en el turno que esté consumiendo más solvente, con ello se pretende estandarizar las buenas prácticas de manufactura en los procedimientos de limpieza de equipo y pistolas. La generación de indicadores permitirá tener un registro del uso real y el uso del equipo, así mismo, la estandarización de las purgas en robot FANUC y equipo BEHR representa un área de oportunidad debido a que se tendrá un consumo controlado y se asegurará que el material que se utilice sea el correspondiente a los objetivos de los planes de control. Esta actividad, en conjunto con la modificación de la programación en el ANDON, permitirá que las purgas programadas entre unidades sean más estándares, y, por lo tanto, será más controlado el uso de solvente por unidad. El monitoreo del equipo asegurará que la cantidad de material utilizado sea el adecuado. Con las acciones de esta propuesta se espera llevar un registro de los consumos por área, la cual permitirá tener un mejor panorama de las actividades y gastos que se tienen por turno.

Propuesta 2. Control del material y estandarización de robots: esta propuesta consiste en llevar un control de las actividades que se realizan antes, durante y después del proceso productivo, en la cual se realizará una medición exacta del consumo del robot y pistolas de aplicación para correlacionar el consumo físicamente y en el robot. Asimismo, se propone habilitar un sistema circulatorio el cual surta directamente a las líneas de aplicación en las casetas, buscando que el solvente que se utilice sea mas barato y de alta calidad, con la finalidad de ser inserto en el proceso productivo. Con las acciones de esta propuesta se espera tener un estimado del consumo y llevar un consumo controlado del desperdicio, así como el verificar si existen fugas o cuellos de botella.

Aunque las propuestas pueden ser incorporadas de manera simultánea, si se tuviera que priorizar por orden de importancia, se esperaría que la Propuesta 1 fuera la que mejores resultados ofrecería puesto que el estandarizar los ciclos de purgas en FANUC y BERH, así como el estandarizar prácticas de manufactura entre tripulaciones (turnos) permitiría encontrar un camino óptimo en el proceso y como segundo lugar la Propuesta 2, porque se tendría el estimado de consumo y se podría apreciar si existe alguna variación o cuello de botella el cual esté generando el consumo innecesario.

4 Conclusión

En las plantas automotrices se manejan grandes cantidades de sustancias químicas, muchas de ellas peligrosas en sus distintos procesos. La metodología empleada en este estudio sirvió para detectar y caracterizar los desperdicios generados en la fase de PRIMER dentro del proceso de pintura de la planta de ensamble automotriz. De la caracterización del proceso, como se aprecia en la Figura 2, se infiere que, aunque en esta fase no se involucran muchos tipos de sustancias químicas, el volumen de desperdicio de las dos sustancias utilizadas en ella es significativo, 2,000 litros de solvente y 320 litros de pintura por semana. Prácticamente el total de solvente utilizado termina en desperdicio, así como los trapos y las lijas que, aunque representan una menor cantidad de desperdicio, también son considerados como residuos peligrosos.

Al determinar las pérdidas clave y al elaborar la gráfica de Pareto, Gráfica 1, se comprueba que el solvente es el que representa el porcentaje más alto de los costos (46%), seguido por la pintura (27%), que de manera acumulada suman el 73% de los costos de pérdida en la fase de PRIMER.

Una forma de buscar las causas de dichas pérdidas fue a través de un análisis de causa y efecto, representado en la Figura 3, mismo que se centró en el desperdicio de solvente. En este paso se aprecia, entre otras cosas, que los ciclos de purga de los equipos y procedimientos de limpieza son algunas de las principales causas del desperdicio. En base a ello, se determinó que las posibles soluciones consistían en una intervención para estandarizar y controlar los niveles de consumo del material usado.

Se puede apreciar que existe un área de oportunidad en la fase de PRIMER, basado en la falta de seguimiento a sus procesos. Los resultados aquí presentados se han desarrollado de manera parcial ya que este estudio todavía está en curso. Por tal motivo, el siguiente paso sería establecer un procedimiento para el cálculo de la inversión y continuar con la fase de planeación e implementación.

5 Referencias

Arendar, Patricia. (2007), Boletín de prensa: Boletín 0718 del 01 marzo 2007. Greenpeace México. Consultado el 13 de enero del 2009. http://www.greenpeace.org/mexico/prensa/releases/debe-la-industria-automotriz-c

Chang, Chang-Tang; Lee, Ching-Hwa; Wu, Yo-Ping; and Jeng, Fu-Tien. (2002). Assessment of the strategies for reducing volatile organic compound emissions in the automotive industry in Taiwan. Resources, Conservation and Recycling, Vol. 34, pp. 117–128.

CNN. (2009). CNNMoney.com. Cable News Network. http://money.cnn.com/data/currencies/

EPA. (1997). New chemicals environmental technology initiative: automotive refinishing industry isocyanate profile. Environmental Protection Agency. EUA.

EPA. (2001). An Organizational Guide to Pollution Prevention. Documento EPA/625/R-01/003. Environmental Protection Agency. EUA.

Fawcett, Stanley E.; Taylor, John C.; and Smith, Sheldon R. (1994). The realities of operating in Mexico: an exploration of manufacturing and logistics issues. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 25, No. 3, pp. 49-68.

General Motors (2007). 2005/06 Corporate Responsibility Report – Environmental Performance. Consultado el 13 de Marzo del 2009. http://origin.gm.prod.gmgssm.com/corporate/responsibility/reports/06/600_environment/5_fifty/650_na.html

Markarian, J. (2000) Coatings Solvents Continue to Be Pressured, Chemical Market Reporter 258, No. 16, FR 11 - FR 13. Schnell Publishing Co. Inc., New York, NY, October 16.

May, Graham. (2004). Europe's automotive sector at the crossroads. Foresight, Vol. 6, No. 5, pp. 302-312.

Rothenberg, Sandra; Schenck, Brian; and Maxwell, James. (2005). Lessons from

benchmarking environmental performance at automobile assembly plants. Benchmarking: An International Journal, Vol. 12, No. 1, pp. 5-15.

Toyota. (2007) Sustainability Report. Consultado el día 13 de enero de 2009. http://www.toyota.com.jp