

Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas  
Editor & Compilador

# SISTEMAS DE MANUFACTURA

PRIMERA EDICION MMXIX



Lima 2018

SISTEMAS  
DE  
MANUFACTURA  
**2018**

---

SISTEMAS  
DE  
MANUFACTURA  
2018

*Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas*  
**EDITOR & COMPILADOR**

---

## **Sistemas de Manufactura**

**Editor:** Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas

**Dirección:** Av. El Retablo 808 2do. Piso Urb. El Retablo, Comas. Lima-Perú

**Correo electrónico:** fjavierwongc@yahoo.es

**Compilador:** Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas

**Diseño y Redacción:** Bach. Carlos Alberto Vega Vidal

**ISBN:** 978-612-00-4352-3

**Primera edición digital:** diciembre 2018

**Libro electrónico disponible en:** <http://ctscafe.pe>

---

## Aplicación de la metodología de producción más limpia en la industria química



**Jéssica Guevara Sáenz de Viteri**  
Ingeniera Industrial – Universidad Nacional Mayor de San Marcos.  
Universidad de Guayaquil, Ecuador  
Correo electrónico: [jessica.guevara@unmsm.edu.pe](mailto:jessica.guevara@unmsm.edu.pe)

**Resumen:** En términos generales la gestión ambiental busca fortalecer la competitividad de los diversos sectores productivos, usando metodologías como la de PML con fines de mejorar la eficiencia en los procesos, reducir los costos operativos y mejorar la relación con el entorno a través de la reducción de impactos, manejo y gestión de residuos sólidos, tratamiento de efluentes y control de contaminantes atmosféricos

**Palabras claves:** Reducción de impactos/ Manejo y gestión de residuos sólidos/ Tratamiento de efluentes/ Control de contaminantes atmosféricos.

**Abstract:** In general terms, environmental management seeks to strengthen the competitiveness of the various productive sectors, using methodologies such as PML in order to improve the efficiency of processes, reduce operating costs and improve the relationship with the environment through the reduction of impacts, management and management of solid waste, treatment of effluents and control of air pollutants.

**Keywords:** Impact reduction / Solid waste management and management / Effluent treatment / Control of atmospheric pollutants.

## 1. Introducción

Durante las últimas décadas la visión empresarial ecuatoriana ha evolucionado con respecto al cuidado del entorno, control y prevención de contaminación; así como la reducción de residuos durante los procesos industriales.

Dentro de este contexto, el gobierno del Ecuador establece a partir del año 2001 la legislación ambiental a través de la implementación del TULSMA Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente en la cual se establecen parámetros de control para: los contaminantes atmosféricos, desechos sólidos y aguas residuales con el fin de regularizar ambientalmente los procesos industriales en el territorio ecuatoriano. Y a partir del año 2009 se elabora un modelo para el desarrollo de un Estado plurinacional e intercultural; que permita lograr el Buen Vivir de las y los ecuatorianos. Este modelo está planteado en las doce estrategias de acción, donde la sostenibilidad forma parte del eje central de ejecución y articulación de actividades enmarcados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Senplades, 2017).

La etapa conocida como tratamiento al final del tubo, implica acciones al final de los procesos cuando se han generado los residuos y esto demanda la inversión en infraestructura adicional con el propósito de aplicar alternativas tecnológicas para dicho tratamiento. Razón por la cual, la metodología de Producción Más Limpia resulta atractiva en el ámbito empresarial; por cuanto se analizan actividades durante las diversas etapas en los niveles de producción con el propósito de lograr: el uso eficiente de materias primas, insumos, energía, agua de manera que se logre la minimización o eliminación de residuos durante los procesos.

La metodología en Producción Más Limpia se define como un “Conjunto de herramientas, prácticas y procesos; que permiten de manera sistemática mantener bajo control las posibles afectaciones al ambiente en un proceso productivo”. que se aplican en los procesos de transformación de materias primas a un producto elaborado, utilizando tecnología, así como la aplicación sistemática de conocimiento técnico, know how, administración y calidad.

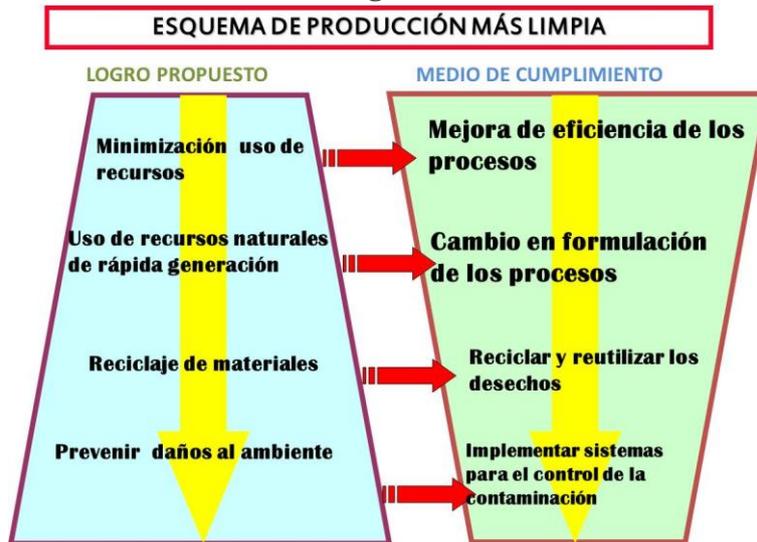
## 2. Material y métodos: Metodología De Producción Más Limpia- PML

La Metodología de PML proporciona herramientas apropiadas dentro de los sistemas de gestión ambiental conservando los principios de la producción industrial relacionados a la competitividad según los estándares nacionales e internacionales, incluyendo las normas ISO, requerimientos locales gubernamentales, responsabilidad social, seguridad y salud ocupacional, buenas prácticas de manufactura, entre otros.

En términos generales la gestión ambiental busca fortalecer la competitividad de los diversos sectores productivos, usando metodologías como la de PML con fines de mejorar la eficiencia en los procesos, reducir los costos operativos y mejorar la relación con el entorno a través de la reducción de impactos, manejo y gestión de residuos sólidos, tratamiento de efluentes y control de contaminantes atmosféricos. Figura 1

---

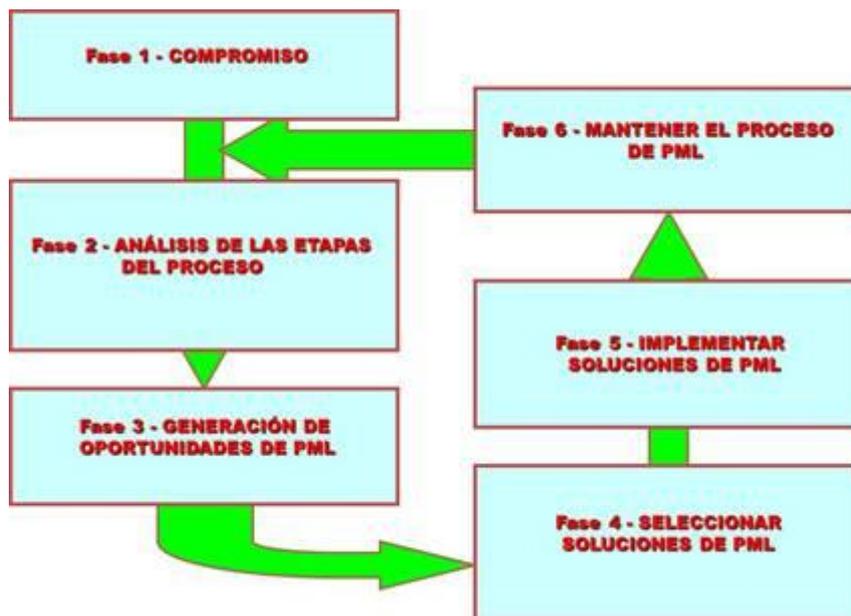
Figura N° 1



Fuente: Material de consultores PML Fundación Carl Dusberg Gesellschaft (2003)

A continuación, se describirá el ciclo de la metodología de PML. Figura 2

Figura N° 2: El ciclo de la metodología PML aplicado en el caso de la empresa ABC de químicos



Fuente: Material de consultores PML Fundación Carl Dusberg Gesellschaft y CNTL 2003

## Fase 1. Compromiso

Hace referencia a la participación de la gerencia en la toma de decisiones dentro de la implementación de Producción Más Limpia en la empresa debido a conlleva una serie de decisiones de tipo administrativo- financiero tales como: generación de cuadros de inversiones en caso de requerir compra de equipos, construcción y /o mejora de infraestructura , disponibilidad de personal para monitoreos internos, disponibilidad de tiempos extras para operarios dentro del plan de mejora programado en PML, cambios de materias primas y en general cambios en procesos entre otros.

Por las razones anteriormente mencionadas es necesario contar con el aval de gerencia y por ende con los mandos medios; caso contrario la efectividad del Plan de mejora será imperceptible; convirtiéndose en una simple capacitación que difunde conceptos de prevención ambiental y mejora productiva.

Dentro de la fase 1 se contempla además la conformación del ecoequipo de trabajo para liderar todas las acciones que serán programadas en el Plan de mejora, ellos se transformarán en los portavoces de las decisiones adoptadas por Gerencia como resultado de varios análisis y reuniones.

Del ecoequipo se nombrará un Líder para la Implementación PML; el que actuará entre los mandos medios y bajos de la empresa en conjunto con un Consultor externo.

## Fase 2. Análisis de las etapas del Proceso

En esta segunda fase se iniciará con la descripción e inspección de instalaciones en la empresa, durante esta fase se tendrá el acompañamiento de un consultor externo que interactuará con el ecoequipo nombrado en le primera fase. El rol del consultor consiste en aclarar situaciones técnicas que se presentan durante la inspección de las instalaciones, así como en el recorrido del proceso.

En la primera visita suele realizarse la inspección cuyo resultado es la identificación de aspecto ambientales en general y que posteriormente serán investigados específicamente, es importante contar con la presencia del consultor externo porque siendo externo, podrá notar aquellos aspectos ambientales que suelen pasar inadvertidos por la cotidianidad.

Una de las herramientas empleadas durante el recorrido al proceso, son los listados de chequeo los cuales cubren varios aspectos tales como:

Uso de agua, consumos energéticos, peligrosidad de materias primas asociadas a la manipulación y conceptos de CRETIB; así como otras situaciones de riesgo que generan derrames, peligros para la salud debido de las emisiones atmosféricas, condiciones de almacenamiento e iluminación de áreas, entre otros

Para el CASO DE LA EMPRESA ABC DE QUÍMICOS, se trata de un proceso de fabricación de masilla plástica que emplea materia prima (microesferas) que ingresaban al proceso después de la etapa de coloración, provocando una incorporación lenta al producto, lo cual provocaba material particulado en el área del proceso.

El caso se trata de la Disminución de la emisión de partículas volátiles de microesferas mediante el cambio en el orden de las operaciones de producción

Durante la ejecución de esta fase, se recopiló información general del proceso productivo, el cual trata de la producción de masilla plástica automotriz. Para el registro del detalle del proceso productivo se empleó la herramienta “flujograma de operaciones” y par a tal efecto, se requirió de cantidades específicas de: insumos, consumos de caudales de agua y kwh de energía, desechos y aguas residuales generados según cada nivel del proceso. Sin dejar de mencionar la capacidad de producción.

El flujograma del proceso esquematiza los niveles de operación representados por los rectángulos, flujo indicado por las flechas, identificación de entradas y salidas por niveles. Se incluye la representación de los flujos de entradas a través de flechas colocadas en las columnas izquierdas del flujograma, para las salidas se ubicarán en la columna derecha.

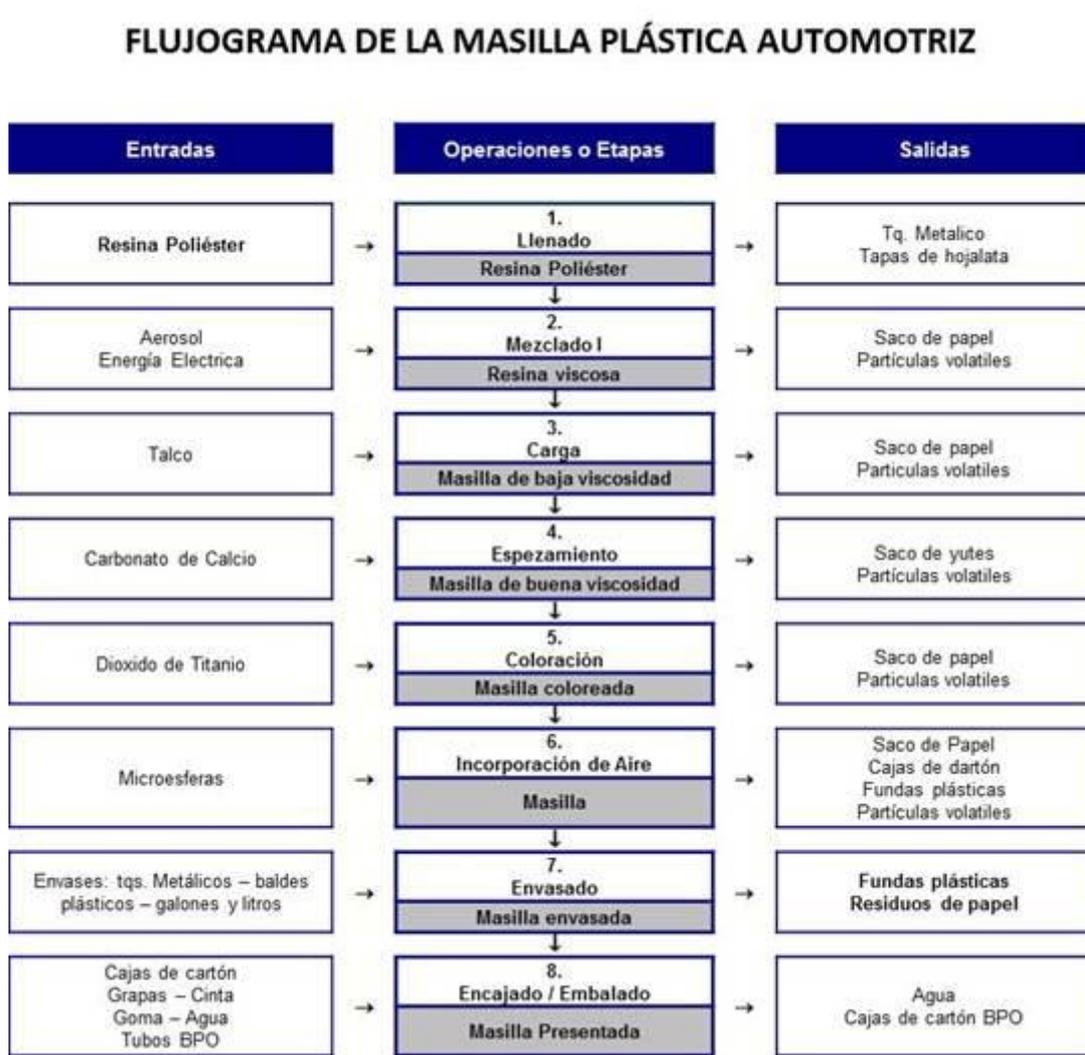
Como descripción de lo anterior se aprecia la figura 3 y para el CASO de Empresa ABC se analizó la posibilidad de cambiar el orden de ingreso de la materia prima (microesferas) al proceso, luego de la etapa de mezclado, a fin de minimizar partículas volátiles en el área del proceso y mejorar la incorporación de esta materia en el producto.

En la Figura 3 se ha incluido en los flujos de salida el producto principal, los desechos sólidos tales como: sacos de papel, fundas plásticas, cajas de cartón, tapas de hojalatas; así como el agua residual y emisiones atmosféricas constituidas por las partículas volátiles.

En la parte inferior de cada nivel se ha identificado los productos intermedios. Cabe mencionar que el flujograma del proceso contempla el registro desde la etapa del llenado hasta el embalado de la masilla

---

Figura N° 3



Fuente: L. Feijoo, 2006, Tesis de Postgrado de Especialistas en Producción Más Limpia ESPOL, Guayaquil, Ecuador

### Fase 3. Generación de Oportunidades de PML

Se trata de cuantificar los aspectos ambientales identificados durante el recorrido para el levantamiento del flujograma Figura 3, buscando establecer acciones con su respectivo análisis de impactos ambientales que posteriormente en las siguientes fases definirá el plan de mejora para el modelo de PML.

Los parámetros a cuantificar se convertirán en indicadores con el propósito de dar seguimiento al plan del modelo de PML.

La cuantificación preferentemente se realiza por lotes según el sistema de producción en la empresa y para ello se vale del uso de equipos de medición. Ejemplo: balanzas, medidores de caudales y energía, vertederos, entre otros.

En la Figura 4 se puede apreciar el detalle de los consumos energéticos en las entradas y la cuantificación de residuos sólidos en la salida del flujograma. Para efectos de cuantificación de emisiones atmosféricas se requirió de un monitoreo de partículas volátiles de acuerdo al marco legal ambiental regulatorio en Ecuador según el TULSMA.

Figura N° 4

Nombre del proceso: FABRICACIÓN DE MASILLA PLÁSTICA

Período y referencia de realización de la evaluación: UN LOTE (BATCH) DE PRODUCCIÓN DE MASILLA PLÁSTICA

ENTRADAS			PROCESO PRODUCTIVO	SALIDAS		
Materias primas, insumos y auxiliares	Agua (m3)	Energía (Kw)	Etapas	Efluentes Líquidos	Residuos Sólidos (Kg)	Emisiones Atmosféricas
Resina Poliéster	0	0	1. Producto*	0	21 Kg tanques metálicos	
Aditivo tixotrópico	0	0.466	2. Producto*	0	0.078 Kg Papel	Material Particulado
Microesferas	0	0.373	3. Producto*	0	0.611 Kg Papel	Material Particulado
Talco	0	0.933	4. Producto*	0	2.4 Kg Papel	Material Particulado
Carbonato de calcio	0	0.093	5. Producto*	0	0.2 Kg Plástico	Material Particulado
<b>SUBTOTAL</b>						
	0	1.865 Kw		0	3.089 kg Papel 0.2 Kg Plástico 21 Kg tanques metálicos	
<b>PRODUCTOS</b>						
<b>Suma de los productos</b>				<b>490 Kg de Masilla Plástica</b>		
<b>TOTAL</b>						

Fuente: L. Feijoo, 2006, Tesis de Postgrado de Especialistas en Producción Más Limpia ESPOL, Guayaquil, Ecuador

#### Fase 4. Seleccionar soluciones

Esta fase consiste en establecer la prioridad de resolución y problemas ocasionados por los aspectos ambientales considerados como oportunidades de PML. Estos aspectos serán seleccionados en base a: Costos de tratamientos o pérdidas durante los niveles operativos, impactos al agua, aire y suelo, calidad del producto, relaciones comunitarias con poblaciones vecinas, seguridad de operadores y estándares de cumplimiento de la Ley Nacional.

En la Empresa ABC se estableció el cambio del orden de ingreso de la materia prima (microesferas) durante el proceso, luego de la etapa de mezclado, logrando minimizar partículas volátiles y mejorar la incorporación de esta materia en el producto final de masilla. Figura 5.

Figura N° 5

#### RESUMEN DE EVALUACIÓN DE DATOS

Etapas del proceso o área de la Empresa	Oportunidad o problema	Acciones a ser adoptadas	Barreras y /o necesidades
MEZCLA	Presencia de Material Particulado	Mejorar procedimientos de operación de carga de materia prima	Capacitación del personal
AIREACIÓN	Presencia de Material Particulado	Cambio en la etapa de entrada de microesferas	Resistencia al cambio por parte del personal
CARGA	Presencia de Material Particulado	Implantar campana extractora de polvo	Recursos Económicos
ESPESAMIENTO	Presencia de Material Particulado	Implantar campana extractora de polvo	Recursos Económicos
COLORACION	Presencia de Material Particulado	Eliminación de materia prima	Resistencia al cambio por parte del cliente
LLENADO	Pérdida de resina en tanques	Lavado de tanques utilizando solventes base	Recursos Económicos, Espacio físico para el área de trabajo, Resistencia al cambio por parte del personal

Fuente: L. Feijoo, 2006, Tesis de Postgrado de Especialistas en Producción Más Limpia ESPOL, Guayaquil, Ecuador

Durante el desarrollo de la fase 4, se realiza la valoración de cada aspecto ambiental identificado de acuerdo al impacto ambiental generado durante el proceso. Esta valoración se realiza de acuerdo a una escala numérica que a la postre permitirá la jerarquización de los aspectos a trabajarse durante el Plan de Mejora de PML y que la gerencia deberá autorizar para el desembolso de las inversiones en caso de ser necesarias.

Los aspectos ambientales serán considerados dentro de las opciones de mejora con el propósito de solucionar, mitigar y minimizar los efectos negativos identificados. A continuación, se muestra en la figura 6 los cambios realizados en el CASO de la Empresa ABC de químicos y considerado como prioritario.

**Figura N° 6**  
**Clasificación de los cambios realizados**

Tipos de Cambios	Marque una x
Buenas prácticas operacionales	
Cambios en los parámetros del proceso	X
Innovaciones tecnológicas	
Cambio en las materias primas e insumos	
Cambio en el producto	
Reciclo interno	
Reciclo externo	
Tratamiento y disposición de desechos	

**Fuente:** L. Feijoo, 2006, Tesis de Postgrado de Especialistas en Producción Más Limpia ESPOL, Guayaquil, Ecuador

### Fase 5. Implementar Soluciones

La implementación de las soluciones para la mejora se plantea de acuerdo a la evaluación numérica asignada y representan los problemas de mayor a menor prioridad según sus causas. No es recomendable esperar el cierre del ciclo de PML para implementar aquellas soluciones para los aspectos de menor relevancia, según el análisis debido a que existen soluciones de carácter práctico, fácil implementación y sin costo alguno que se vincula a las acciones de Buenas prácticas de manufactura.

En términos generales, las soluciones se pueden agrupar. Véase Figura 6.

- Buenas prácticas operaciones
- Cambios en los procesos
- Innovaciones tecnológicas
- Cambio de materias primas
- Cambios en los productos
- Reciclaje interno y externo
- Tratamiento y disposición de desechos

### Fase 6. Mantener el proceso de PML

En esta última fase del Ciclo PML, se trata de mantener la autosuficiencia del plan de mejora en la Empresa, así como la puesta en marcha de las acciones planteadas como soluciones PML.

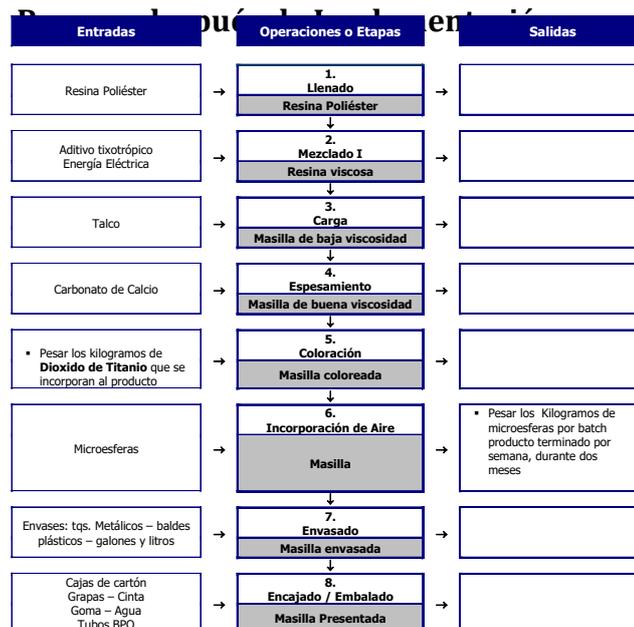
Cabe indicar que estas acciones han sido enmarcadas dentro de un cronograma valorado y categorizadas según los cortos, medianos y largos plazos. Un ejemplo de corto plazo es el que corresponde a menos de 4 meses, mientras que un mediano plazo implica entre 5 hasta 10 meses; y superior a 10 meses corresponderá a largos plazos.

Cada empresa según los resultados de la evaluación durante las Fases 3 y 4, establecerá un Plan de Monitoreo y Seguimiento, el cual será ejecutado en esta última fase y por ende discutido con el ecoequipo de trabajo en conjunto con el consultor externo; los mandos altos reiteran su compromiso de apoyo para la continuidad de acciones

A continuación se muestra en el figura 7 el Plan de Monitoreo planteado usando el flujograma de procesos para la producción de masillas en la Empresa ABC de químicos, en el que se va pesar las microesferas por lote terminado semanalmente durante dos meses en el nivel 6 de incorporación de aire para masilla.

**Figura N° 7**

#### Definición del Plan de MONITOREO en base al Flujograma de



**Fuente:** L. Feijoo, 2006, Tesis de Postgrado de Especialistas en Producción Más Limpia ESPOL, Guayaquil, Ecuador

El seguimiento es parte del éxito de esta última fase y se evaluará posteriormente los tiempos de culminación, el control que realizó el personal asignado, los avances de la implementación y los nuevos problemas encontrados, así como el levantamiento de la información del antes y después de la implementación del Plan de Monitoreo.

Finalmente, se generan acciones correctivas en los casos de incumplimiento de plazos establecidos en el Plan de mejora de PML.

El ciclo es continuo y por lo tanto nuevas acciones se incorporan para las fechas siguientes de trabajo en la Empresa. Para el caso de la Empresa ABC de químicos se alcanzaron los siguientes resultados luego de implementación de la Metodología de PML.

#### 4. Resultados

Las medidas implementadas fueron:

- Sustitución de la microesfera tipo 1 masilla plástica automotriz por la tipo 2, con un costo de 3,28 USD/kg, y con una presentación de 15,90 kg-masa en embalajes de papel que pesa 0,40 kg.
- Cambió el orden de ingreso durante el proceso de la microesfera tipo 2 de nivel 6 a nivel 3, de manera que existan menor presencia de Pm

#### Los beneficios ambientales

Un programa de prevención de la contaminación desde un punto de vista conceptual busca utilizar los recursos de la forma más eficiente posible. Por tanto, no sólo se desean mejorar las condiciones ambientales tanto a lo interno de la empresa como en el entorno de esta, sino también obtener beneficios ambientales ocultos que den un valor agregado a todo el programa. La Empresa ABC con las medidas implementadas logró minimizar la generación de desechos sólidos no peligrosos, debido al cambio de embalaje, alcanzando una reducción anual de 842,40 Kg de plástico y cartón; y de 222,80 Kg de papel.

Otro logro importante fue la minimización de nubes de material volátil en las áreas de trabajo.

#### Beneficios Económicos

Se optimizaron procesos como el de la producción de masilla e involucró mejoras en las prácticas operativas de ingresos de microesferas, así como el cambio de materia prima de la microesfera sin afectar la calidad del producto. El ahorro de costos de producción por cambio de microesferas tipo 1 a microesferas tipo 2 fue de 22651,20 USD/anual, con una inversión de 48628,80 USD/anual.

Estos beneficios económicos estuvieron asociados a la reducción anual de 108 kg de microesferas tipo 1 a 36 kg de microesferas tipo 2.

Consisten en realizar mejoras en la manera en la que actualmente se hacen las cosas o sugerir nuevas y mejores formas de hacerlas, que aumentarían en gran medida el desempeño ambiental de la empresa.

#### 5. Reconocimientos sobre la información del artículo

Estudio de tres casos donde se aplican técnicas de P+L para la Empresa Industrial Disther C. Ltda, Tesis de Postgrado de Especialistas en Producción Más Limpia, Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL, Guayaquil, Ecuador desarrollada por el Ing. Luis Feijoo Egas Esp. De la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. 2006

CEPL-Centro Ecuatoriano Producción Más Limpia.

Fundación Carl Dusberg Gesellschaft,

COSUDE, Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo.

CNTL Centro Nacional de Tecnologías Limpias de Brasil, BID – Banco Interamericano de Desarrollo capítulo Ecuador, Cámaras y Empresas Participantes

---

## 6. Literatura Citada

- CEGESTI.** (2004). Manual de Producción más Limpia. San José, Costa Rica: CEGESTI.
- Chen, W., Warren, K.A., Duan, N.,** (1999). Incorporating cleaner production analysis into environmental impact assessment in China. *Environ. Impact Assess. Rev.* 19, 457e476. [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(99\)00023-2](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(99)00023-2).
- Feijó Egas L,** (2006) Estudio de tres casos donde se aplican técnicas de P+L para la Empresa Industrial Disther C. Ltda, Tesis de Postgrado de Especialistas en Producción Más Limpia, Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL, Guayaquil, Ecuador.
- Fijal, T.** (2007). An environmental assessment method for cleaner production technologies. *J. Clean. Prod.* 15, 914e919. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.019>.
- GTZ – P3U.** (2003). *Guía de Buenas Prácticas de Gestión Empresarial (BGE) para Pequeñas y Medianas Empresas.* Bonn, Alemania: GTZ – Programa piloto para la promoción de la gestión ambiental en el sector privado en los países en desarrollo (P3U).
- Ibañez-Fores, V., Bovea, M.D., Perez-Belis, V.,** (2014). A holistic review of applied methodologies for assessing and selecting the optimal technological alternative from a sustainability perspective. *J. Clean. Prod.* 70, 259e281. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.082>.
- Manuales de Consultores PML,** (2004) Centro Ecuatoriano de Producción Más Limpia
- Tsinghua University** (2018) Model a School of Environment, Beijing, 100084, China  
b Technology Center for Heavy Metal Cleaner Production Engineerings, State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese, Research Academy of Environmental Sciences, Beijing, 100012, China, [www.elsevier.com/locate/jclepro](http://www.elsevier.com/locate/jclepro).
- Peilei Zhang, Ning Duan , Zhigang Dan, Feifei Shi b, Huifeng Wang ,** An understandable and practicable cleaner production assessment
- Stone, L.J.,** (2006) Limitations of cleaner production programmes as organizational change agents I. Achieving commitment and on-going improvement. *J. Clean.Prod.* 14, 1e14. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.12.008>.
- Wang, Z., Dan, Z., Wang, S., Shi, F., Gao, W., Zhang, H., Duan, N.,** (2016) Assessment methods and case studies of pollution reducing effects from cleaner production technologies (in Chinese). *J. Environ. Eng. Technol.* 6, 284e289.