



**Encuentro Internacional de  
Educación en Ingeniería ACOFI**

Innovación en las facultades de ingeniería:  
el cambio para la competitividad y la sostenibilidad

Centro de Convenciones Cartagena de Indias

4 al 7 de octubre de 2016



# **APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE LEAN MANUFACTURING EN PROCESOS DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DEL AGUA UTILIZADAS EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES, PARA MITIGAR EL IMPACTO AMBIENTAL EN COLOMBIA**

**Rafael Ignacio Vargas González, Jeysser Johan Otero Díaz, Alexander Reyes Moreno**

**Universitaria Agustiniana  
Bogotá, Colombia**

## **Resumen**

En la mayoría de procesos industriales que se desarrollan en el país, se cuenta con el elemento agua como insumo potencial, sin embargo, los procesos referentes a su utilización, tratamiento y reutilización no son eficientes ni eficaces; de hecho la mayoría de estos procesos no cuentan con la aplicación de protocolos específicos para su implementación. Teniendo como base la anterior problemática se plantea la aplicación del modelo Lean Manufacturing con el fin de generar procesos continuos y sistemáticos que permitan identificar, mejorar, eliminar y reemplazar cualquier actividad que no permita el cumplimiento de las normativas para la gestión de los recursos naturales.

La filosofía Lean está compuesta por una gran cantidad de herramientas o pilares básicos que se deben aplicar en la industria colombiana, estas conforman un grupo de aplicaciones tecnológicas que incluyen procesos de automatización, formatos de información, documentos gráficos entre otras, las cuales permiten ejecutar los procesos de una forma más eficiente.

A lo largo de este artículo se analizará la visión Lean to Green; que aplica el Lean Manufacturing con respecto a los procesos industriales que utilicen el recurso hídrico.

**Palabras clave:** manufactura esbelta verde; recursos hídricos, procesos industriales

## ***Abstract***

*In most industrial processes taking place in the country, it has the element of water as an input potential, however the processes concerning use, treatment and reuse are not efficient or effective; in fact most of these processes have no application specific protocols for implementation. On the basis of the above problem applying the model Lean Manufacturing arises in order to generate continuous and systematic processes to identify, improve, remove and replace any activity that does not allow compliance with the regulations for the management of natural resources.*

*The Lean philosophy is composed of a lot of tools or pillars to be applied in the Colombian industry, these are a group of technological applications including process automation, data formats, graphics documents among others, which allow you to run the processes more efficiently.*

*Throughout this article the vision Lean Green to be analyzed; Applying Lean Manufacturing with respect to industrial processes that use water resources.*

***Keywords:*** *green Lean manufacturing; water resources, industrial processes*

## **1. Introducción**

La economía mundial presenta en la actualidad un punto de quiebre, el cual exige los mayores niveles de calidad, competitividad y eficiencia. Por lo tanto, se hace imperativo que la producción de bienes y servicios presenten un cambio drástico desde el punto de diseño y planeación pasando por la etapa de producción hasta el servicio postventa.

La filosofía de Lean Manufacturing permite integrar a todo los tipos de recursos (humanos, financieros, materiales y tecnológicos), bajo un mismo objetivo el cual consiste en obtener la calidad y la mejora continua de todos los procesos involucrados en la organización.

En un mundo donde los procesos industriales avanzan a pasos agigantados, donde la eficiencia, la eficacia y la innovación generan niveles de competitividad máximos y esta competencia es de orden internacional debido al fenómeno de globalización; ha generado una transformación en los lineamientos organizacionales, los cuales deben enfatizar en la aplicación de nuevas tecnologías, procesos de innovación, así como nuevas herramientas de producción. Lo anterior generara procesos y productos a la altura de los actuales estándares.

Los pilares básicos del Lean Manufacturing se encuentran ubicados en 5 grupos independientes los cuales son: administración de la calidad total, la cual se centra en la satisfacción de la expectativa del cliente. Justo a tiempo, en donde se busca producir solo lo necesario, en el momento justo y cantidad necesaria. Mantenimiento productivo total, sus 3 objetivos son cero averías, cero defectos, cero accidentes. Procesos de mejoramiento continuo, consiste en solucionar problemas y oportunidades de mejora. Manufactura integrada por computador; elimina sobreproducción, mejora tiempo de respuesta a la demanda del cliente, funciona como sistema de información.

## 2. Planteamiento del problema

Durante los últimos años la deficiente y funesta praxis con respecto al tratamiento de los recursos hídricos en los procesos industriales en Colombia ha generado diversas problemáticas de grandes magnitudes, lo cual no solo ha perjudicado a comunidades enteras privando no solo de la calidad necesaria para el consumo humano del preciado líquido, sino del racionamiento en el suministro de éste por escases y contaminación. De igual forma se han generado políticas gubernamentales con el fin de preservar este recurso no renovable.

¿Es posible generar una nueva metodología en cuanto a la praxis aplicada en los procesos industriales que involucren recursos hídricos, basados en la filosofía de Lean Manufacturing, que permitan cumplir con los lineamientos legales y ambientales actuales?

## 3. Justificación

El modelo económico occidental se encuentra en la actualidad en un punto de quiebre que ha obligado a las economías consideradas como desarrolladas en las últimas décadas, a enfocar sus procesos en el concepto de mejoramiento continuo, cumpliendo con los más altos niveles de eficiencia, eficacia y calidad. Los nuevos derroteros han sido generados por un nuevo orden mundial impuesto por economías que se denominaban emergentes hasta hace muy poco tiempo.

Es así como las economías de oriente se imponen con nuevos paradigmas que contrastan con los aplicados en occidente. De esta forma China e India se han posicionado del primer y tercer lugar respectivamente en el orden económico a nivel global; se pronostica para el año 2020 que la economía india llegue al segundo lugar, puesto que es ocupado en la actualidad por Estados Unidos, quien se prevé llegara al tercer lugar para la segunda década del milenio.

Es así como los países asiáticos entre los que se encuentran Corea del Sur, Los tigres asiáticos, y China entre otros no cedieron ante la crisis económica generada desde el 2008, la cual produjo millonarias pérdidas al resto del mundo y provoco la caída de los países que lideraban el orden mundial desde varias décadas atrás; por el contrario sus economías mantuvieron un crecimiento positivo, el cual es debido a la suma de esfuerzos desarrollados por estas naciones que involucran una filosofía de vida completamente distinta a la occidental, la cual se ve reflejada en todos los ámbitos circundantes a estas sociedades incluyendo el desarrollo industrial.

Es de esta forma como las economías de occidente han comenzado a analizar cuáles fueron los planteamientos y desarrollos aplicados por estos países, los cuales permitieron que sus procesos industriales fueran superiores a los presentados por las economías predominantes hasta entonces.

Teniendo en cuenta lo anterior es indispensable analizar, interpretar y apropiar metodologías y filosofías que permitan aumentar los niveles de productividad, eficiencia y eficacia a través de procesos de mejoramiento continuo que

permitan obtener la calidad necesaria para competir internacionalmente. De igual forma en el mundo actual la economía agroecológica y los conceptos de desarrollo sostenible se imponen como directrices dentro de los procesos económicos y sociales; los impactos ambientales en los últimos 100 años han sido de tal magnitud, que se han causado daños irreparables al medio ambiente agotando los recursos naturales no renovables, en donde uno de los más afectados ha sido el agua. Finalmente se debe recordar los diversos tratados internacionales a los cuales se ha suscrito Colombia con el fin de la protección de los recursos naturales y el desarrollo sostenible que involucra una producción económica acorde con los lineamientos ecológicos.

De ésta forma se genera la necesidad de aplicar herramientas como Lean Manufacturing y dentro de esta Lean to Green que permitan evolucionar iniciativas en donde la producción y la protección del medio ambiente trabajen de la mano por alcanzar un objetivo conjunto cuya consecuencia será el aumento de los beneficios para toda la sociedad.

## 4. Objetivos

### Objetivo general

Reducir el consumo de fuentes hídricas en los procesos industriales, así como generar procesos de tratamiento de estos recursos para finalizar con el vertimiento de agua industrial al alcantarillado municipal de Funza, todo lo anterior aplicando la visión de Lean to Green.

### Objetivos específicos

- Reducir los vertimientos generados al alcantarillado municipal por el tratamiento de aguas industriales.
- Reutilizar el agua tratada en los procesos industriales que involucren el cromado.
- Disminuir y mitigar los vertimientos al alcantarillado municipal generados por las aguas industriales.
- Tratar y reutilizar el agua procedente de los procesos industriales para el riego de pantas (procesos de jardinería) reduciendo así el consumo de agua potable.
- Reducir el consumo de agua potable para el riego de plantas (jardinería).

## 5. Desarrollo del problema

### 5.1. Tratamiento y recirculación de agua en la industria de la fabricación de griferías

Fuentes de consumo de agua de la fábrica.

Planta Funza en la actualidad cuenta con dos fuentes de abastecimiento de agua:

1. EMAAF (agua potable - industrial).
2. Agua lluvia-Industrial (laguna – reservorio).
3. Agua del reservorio o laguna.

Los diferentes sistemas de agua:

- Torres de enfriamiento Línea Sanitaria.
- Torres de enfriamiento Línea Comercial.
- Chillers.
- Planta de Agua Industrial.
- Reservorio.
- Planta de Agua Potable.

### 5.1.1. Torres de enfriamiento líneas sanitarias

Líneas de enfriamiento del agua utilizadas en las máquinas inyectoras. Modelos Cincinnati, roboshot e inyectoras mueble plástico.



Figura 1. Torres de enfriamiento línea de inyección mueble sanitario. Empresa Grifería y Complementos S.A. Funza, Cundinamarca. (Los autores).

### 5.1.2. Torres de enfriamiento líneas sanitarias

Líneas de enfriamiento del agua utilizadas en las máquinas coquilladora, robot coquillador y maquinas sopladora.



Figura 2. Torres de enfriamiento líneas de fundición. Empresa Grifería y Complementos S.A. Funza, Cundinamarca (los autores).

### 5.1.3. Chillers

El sistema de enfriamiento está compuesto por 2 torres de enfriamiento (líneas comercial y sanitaria) y 7 chillers. Estos chillers están localizados al interior de la planta de producción.

### 5.1.4. Planta de agua industrial

Planta del tipo Compacto, Capacidad Nominal: 60 GPM. Capacidad actual de operación: 32 GPM.

Proceso Actual de Tratamiento: Clarificador / sedimentador (unidad compacta en la que se lleva a cabo simultáneo y continuamente las operaciones de mezcla). En esta etapa se realiza el proceso de coagulación, floculación y sedimentación), filtración con arena (2 unidades, filtros a presión con lechos mixtos de arena/antracita).

Desinfección con cloro (dosifican actualmente hipoclorito de sodio).

Producción promedio mensual de agua: 1400 m<sup>3</sup>/mes.



Figura 3. Filtros de tratamientos de agua industrial torres de enfriamiento. Empresa Grifería y Complementos S.A. Funza, Cundinamarca. (los autores)

### 5.1.5. Reservorio

Este tipo de agua es utilizada para el sistema de enfriamiento de las diferentes máquinas que se encuentran dentro de la planta.

Está ubicado frente al planta compacta y cancha de mini fútbol es un ecosistema que está formado por diferentes especies de fauna y flora y recibe las aguas lluvias provenientes de las bajantes de la empresa, actualmente es el principal proveedor de agua cruda para el tratamiento de agua industrial.



Figura 4. Reservorios de agua industrial. Empresa Grifería y Complementos S.A. Funza, Cundinamarca (los autores)

## 5.1.6. Tratamiento de aguas

### 5.1.6.1. Planta de tratamiento de aguas residuales industriales

La planta de tratamiento opera entre 20-22 h/día, 28 días/mes de acuerdo a la necesidad de Planta Funza.

Características:

- **Capacidad de la planta:** 9.2 m<sup>3</sup>/h (40.5 GPM).
- **Volúmenes a tratar:** La planta está preparada para una operación continua las 24 horas del día, durante los 365 días del Año. Por lo tanto, la planta puede tratar hasta 220.8 m<sup>3</sup>/día (6624 m<sup>3</sup>/mes).
- **Caudal actual:** 6 m<sup>3</sup>/h (26.4 GPM).

### 5.1.6.2. Captación de efluentes industriales

La Planta para sus efluentes residuales industriales, cuenta con dos drenajes separados, uno para coleccionar los efluentes procedentes de la línea de cromados (efluentes Crómicos) y otro para el resto de sus efluentes de galvanoplastia (acabado final). Para el caso de los efluentes crómicos, se utiliza un tanque de Homogenización existente de 27 m<sup>3</sup>, y para el resto de los efluentes un tanque de 28 m<sup>3</sup>.

### 5.1.6.3. Sistema de reducción de cromo

Para eliminar el carácter tóxico del cromo hexavalente, se adiciona una solución química de Meta bisulfito de Sodio, que oxida las valencias del cromo hasta reducirlas a Cromo Trivalente. Los efluentes crómicos ya tratados (cromo III) se incorporan al tanque de homogeneización del resto de los efluentes para ser conducidos hacia los tanques de precipitación de metales pesados.



Figura 5. Tanque para el tratamiento de aguas con cromo. Empresa Grifería y Complementos S.A. Funza, Cundinamarca. (Los autores)

#### 5.1.6.4. Sistema de precipitación de metales pesados.

Los efluentes totales ingresan al primer tanque de reacción, en el cual por medio de adición de químicos se realiza la precipitación de los metales pesados y la reducción de dureza total.

Los químicos usados son:

- Hidróxido de calcio.
- Hidróxido de sodio.
- Carbonato de sodio

#### 5.1.6.5. Sistema MEMTEK (micro filtración con membranas)

El sistema actual cuenta con 24 membranas y produce alrededor de 2.5 GPM. El sistema de filtración incluye un sistema de limpieza, integrado por dos tanques y una bomba plástica. Este sistema se encarga principalmente de retener los metales pesados presentes en el agua.

#### 5.1.6.6. Sistema de Osmosis Inversa

La primera etapa de Osmosis Inversa tiene como objetivo eliminar las sales disueltas que contiene el agua previamente tratada por micro filtración, logrando un agua producto de  $\approx 350$ us.

La combinación del Sistema MEMTEK y Osmosis Inversa, hace posible que el rechazo de la Osmosis Inversa en su mayoría pueda recircularse al tanque de pretratamiento y de homogenización; para ser tratado y reutilizado. La purga es del orden de 1.3 m<sup>3</sup>/h (incluyendo el rechazo de la osmosis de la segunda etapa) y la recuperación de esta primera etapa es del 70% de agua producto (8.4 m<sup>3</sup>/h máximo).

#### 5.1.6.7. Sistema de desinfección UV



Con el propósito de evitar formación de microorganismos y descomposición del agua en el sistema de recirculación, una desinfección con luz ultravioleta está incorporada en el tratamiento. Este sistema está instalado en la línea de agua producto, antes del tanque de almacenamiento de agua tratada.

#### **5.1.6.8. Vertimientos**

La operación de la planta genera un vertimiento de agua promedio mes de 1300 m<sup>3</sup>, los cuales son descargados a la red de alcantarillado municipal de Funza en un promedio diario de 43 m<sup>3</sup>. Estos vertimientos se realizan por ciclos (9 descargas al día) de 4,77 m<sup>3</sup> aproximadamente.

#### **5.1.6.9. Plan de saneamiento y manejo de vertimientos**

En el año se realizan dos muestreos al punto de vertimientos de acuerdo a los parámetros establecidos en la resolución 0631/2015.

### **6. Conclusiones**

- Una de las prioridades que deben dar las industrias que manejan en sus procesos recursos hídricos es la optimización y tratamiento adecuado para no impactar el medio ambiente.
- La inadecuada utilización de fuentes acuíferas, en la mayoría de las empresas genera un impacto ambiental y un aumento en los costos de consumo de este líquido en los procesos productivos.
- Puesto que el objetivo de Lean to Green es la optimización de los recursos utilizados en todos los procesos de la organización, es indispensable optimizar aquellos que involucren recursos naturales no renovables.

### **7. Recomendaciones**

- Las medidas de protección al medio ambiente deben orientar las estrategias de las industrias para la preservación de los recursos naturales no renovables entre ellos el agua.
- Debido a la poca disponibilidad de los recursos naturales, específicamente de las fuentes hídricas es necesario la adopción de políticas y derroteros que permitan la optimización de los procesos industriales para la solución de problemas ambientales. Estas políticas deben ser conciliadoras entre los niveles de producción y calidad exigidos con respecto a la utilización y conservación del medio ambiente.
- Los sistemas de monitoreo y evaluación generados por los organismos competentes deben ser orientados a la planificación y fiscalización que permitan controlar el vertimiento de aguas industriales sin tratar al alcantarillado.
- Se deben implementar evaluaciones periódicas de impacto ambiental, así como generar una real aplicación de normatividad a todas las industrias que generan desperdicios y los vierten al alcantarillado sin previo tratamiento.
- Todos los proyectos industriales que manejen recursos hídricos, deben tener como uno de sus objetivos manejar de forma efectiva las aguas utilizadas en su proceso para reducir costos del servicio y contaminación.

## 8. Referencias

### Libros

- BALLESTEROS PEDRO (2008). Algunas reflexiones para aplicar la manufactura esbelta en empresas colombianas, Universidad tecnológica de Pereira, scientia et technica, nº 38, p 226.
- CORREA FRANCISCO (2007) “manufactura esbelta, principales herramientas” revista panorama administrativo año 1, pp 85-89.
- TEJADA ANNE (2011) “mejoras de lean manufacturing en los sistemas de producción” ciencia y sociedad volumen xxxvi, nº 2 abril-junio, pp 281-290.
- MALDONADO GUILLERMO (2008) “herramientas y técnicas de lean manufacturing en sistemas de producción y calidad” monografía, universidad autónoma del estado de hidalgo, pp. 91-105.

### Fuentes electrónicas

- Environmentalleader. Resultados los rendimientos de fabricación magra “verdes”. Recuperado de: <http://www.environmentalleader.com/2014/01/21/lean-manufacturing-yields-green-results/>.
- Ensia. Fabricar el producto delgado y verde. Recuperado de: <http://ensia.com/features/manufacturing-goes-lean-and-green/>.
- Industry News. ThomasNet.com: ¿Es eficiencia en la fabricación Manufactura Verde?. Recuperado de: <http://news.thomasnet.com/imt/2013/04/15/is-lean-manufacturing-green-manufacturing>.
- Researchgate.net: Magra frente la fabricación: similitudes y diferencias. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/257492917\\_Lean\\_vs\\_Green\\_manufacturing\\_Similarities\\_and\\_differences](https://www.researchgate.net/publication/257492917_Lean_vs_Green_manufacturing_Similarities_and_differences).

### Sobre los autores

- **Rafael Ignacio Vargas González:** Estudiante Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería Industrial. rafaelivargasg@gmail.com
- **Jeysser Johan Otero Díaz:** Estudiante Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería Industrial. Jeysser\_johan@hotmail.com
- **Alexander Reyes Moreno:** Ingeniero Industrial, Master en Administración de Empresas con Especialidad en Gestión de la Calidad, Seguridad y Medio Ambiente, Master en Administración Ambiental, Estudiante Doctorado en Ciencias Económicas y Administrativas. Profesor titular. areyes946@hotmail.com

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2016 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)