

## ***Diseño de Optimización en el Proceso de Diseño en el Área de Moldeo por Inyección***

*René G. Rivera Hernández  
Maestría en Ingeniería en Ingeniería de Manufactura  
Supervisor: Carlos González, PhD.  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

---

**Abstracto** – *Mediante el uso de la metodología de Lean se reduce el tiempo de diseño y al mismo tiempo se eleva la calidad de producto que se hace en los moldes de inyección. Este método se aplicará haciendo una implementación de programas CAD y adiestrando al personal para que sepa trabajar con una herramienta llamada DFM Pro. Con esta implementación se busca reducir considerablemente el tiempo que tardan en optimizar los diseños para que cumplan con los requerimientos de manufactura, bajar los costos y asegurar que una vez esté finalizado el producto requiera los menos retoques posibles.*

**Palabras Claves** – *CAD, Implementación, Reducir Costos, Reducir Tiempo.*

### **INTRODUCCIÓN**

La producción de piezas plásticas moldeadas por inyección es parte integral de muchos de los principales procesos de manufactura actuales. Cada vez más, los plásticos son usados cuando las compañías están interesadas en mejorar el conjunto ideal de condiciones de procesamiento para una combinación molde (máquina/material).

El proceso de moldeo por inyección de plásticos es usado típicamente para producir partes de una geometría relativamente compleja en un solo paso. Esto significa que una vez la pieza ha sido expulsada del molde está lista para su uso o lista para ser agregada en un ensamble más grande. Como resultado, el proceso de moldeo por inyección ha disfrutado de un crecimiento relativamente fuerte en varias ramas industriales por cierto tiempo. Sin embargo, dado que cada vez se producen más piezas de geometría compleja en materiales también muy diversos, es necesario implementar el CAD para la

desempeño de sus productos, mientras reducen sus costos de operación y tiempo de entrada al mercado. Es bien conocido que optimizar el proceso de diseño a manufactura disminuye el costo de desarrollo y fabricación, mejora la calidad de las piezas plásticas y reduce el tiempo de puesta en venta de un nuevo producto; y puede sostenerse que la mejor forma de optimizar el proceso de diseño a manufactura de piezas plásticas moldeadas por inyección es implementar herramientas de ingeniería asistida por computador (CAD). Estas herramientas pueden usarse para simular una amplia variedad de fenómenos, ocurridos durante el desarrollo y manufactura de una pieza plástica.

Específicamente, el CAD puede usarse en plásticos para determinar el espesor de pared óptimo de un diseño de pieza dado, o para determinar la viabilidad de manufactura de detalles como una costilla delgada o un repujado grueso. También puede usarse para determinar el perfil óptimo de enfriamiento de un molde de inyección o para encontrar

simulación de todas las fases del proceso de diseño a manufactura, y evitar potenciales problemas como:

- Defectos en las piezas
- Dimensiones incorrectas
- Diseños que no funcionan.

### **Planteamiento del Problema**

Una vez se tienen los diseños en programas CAD como Solidworks y PTC CREO se pasa a manufacturar en las máquinas de inyección. El problema que están teniendo es que el 30% del tiempo de desarrollo de los productos que se van en arreglos. En las compañías se está perdiendo demasiado tiempo y material en estos procesos de arreglos, lo que causa pérdidas de dinero, tiempo y eficiencia. Implementando el método de Lean

buscamos disminuir el tiempo que se gasta arreglando las piezas y a la misma vez maximizar la eficiencia del grupo de diseño.

### **Descripción de la Investigación**

Este proyecto busca implementar una herramienta a los programas CAD llamada DFMPPro, la cual nos ayudará a perfeccionar los diseños de manufactura para bajar el tiempo que se pierde rediseñando piezas o arreglando piezas para que cumplan con los requerimientos de manufactura. Evaluando los procesos se pierde mucho tiempo rediseñando o arreglando las piezas y como resultado se pierde dinero, por lo que se debe implementar esta herramienta. Este proceso afecta mayormente a la parte de la compañía que se encarga del diseño, pero al mismo tiempo les beneficia porque serán más productivos y ayudará a reducir los gastos.

### **Objetivo de la Investigación**

El proceso tradicional que usan las compañías para intentar bajar los errores en diseño es hacer referencia a libros, hacen 'checklist' de las guías de diseño y también hacen que colaboren más entre si la parte de diseño y el equipo de manufactura. Esto consume mucho tiempo por el volumen de guías de manufactura que existen, es tedioso y aun así han probado que los errores continúan. Implementando la herramienta que usarán en el área de diseño llamada DFMPPro y que puede ser integrada a programa tales como:

- PTC CREO Parametric
- Siemens NX
- Solidworks

Una vez se implementa el programa se le da el entrenamiento necesario a los empleados. Una vez se haga la implementación completa los empleados podrán:

- Diseñar con mayor velocidad.
- Analizar la pieza y sus partes críticas.
- Eliminar el tiempo que se pierde cuando tienen que rediseñar una pieza luego de que esta manufacturada.
- Ser más eficaz.

- Trabajar con una mayor cantidad de diseños en menos tiempo y con mejores resultados.
- Reducir costos.

### **Contribución de la Investigación**

Esta herramienta ayudará a reducir el tiempo de diseño, ensamble y validación reduciendo los errores y con eso tendrán diseños más eficientes en menos tiempo. Esto además de disminuir el tiempo en diseño disminuirá el costo de los productos y al mismo tiempo te ayudará en el mercado.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

Tras la crisis económica de los setenta, las empresas avanzadas han buscado maneras de sobrevivir a los constantes cambios del mercado. Los orígenes del Lean Manufacturing se remontan a 1950, pero en el 1990 es cuando aparecen las primeras publicaciones sobre sus técnicas y conceptos. En Toyota se implantó la primera metodología basada en los valores 'Lean', concebida por los grandes expertos en el Sistema de Producción de Toyota (TPS, por su sigla original). A partir de aquí esta filosofía empezó a difundirse por el resto del mundo. En efecto, Taiichi Ohno expuso que se trata de producir más y más, con menos y menos. Se pretende aumentar la productividad y el beneficio situando el poder en el proceso [1], dejando a un lado la jerarquía y adoptando métodos en los que se delegue poder y estrictas responsabilidades a los diferentes trabajadores. La gran parte del conocimiento no está en los equipos de ingenieros, sino en los operarios. Por consiguiente, resulta necesario que el objetivo fundamental de cualquier empresa sea satisfacer a sus clientes y esto requiere un cambio de mentalidad, organización y formas de operar con las cuales se piense en estandarización, trabajo en equipo, cero defectos y cero desperdicios, entre otros factores. Hay muchas empresas que no están optando por innovar y actualizarse, otras que fallan en el intento y las restantes están realizando, por medio de proyectos, grandes esfuerzos para implementar las metodologías de mejoramiento Lean [1]. Esta filosofía tiene un protagonismo cada

vez mayor y más importante en la gestión empresarial en todo el mundo, ya que sus principios y herramientas son aplicables a todo tipo de procesos, con una adaptación a cada circunstancia. Por tanto, la búsqueda de rentabilidad por parte de las empresas está impulsando aún más la implantación de esta metodología. Lluís Cuatrecasas piensa que para la implantación de la gestión Lean no se depende de los recursos ni de la tecnología, pues por encima de todo es necesaria la voluntad y resolución por parte de los integrantes de la empresa y en particular de su dirección [1]. Asimismo, él considera que “el objetivo de la transformación del proceso a los principios Lean es conseguir eliminar de los procesos las actividades que no aporten valor añadido (desperdicios) e introducir la flexibilidad necesaria para adaptar la producción a una demanda fluctuante” [1]. Uriel [1], por su parte, expresa que el Lean Management “tiene por objetivo esencial, que la producción fluya a un ritmo continuo y suave, ritmo que no está marcado por la disponibilidad o capacidad de las máquinas, sino por la demanda de los clientes”.

Autores como James P. Womack, Daniel T. Jones y Lluís Cuatrecasas, entre otros, coinciden en que un sistema de producción Lean es el que produce lo que la demanda solicita, en la cantidad solicitada y en el momento en que se solicita, eliminando todo tipo de actividades que no aporten valor al producto.

Lluís Cuatrecasas [1], por su parte, manifiesta que la gestión Lean ha contribuido notablemente a la mejora en eficiencia, competitividad, rapidez de respuesta y flexibilidad en los procesos, bien sean industriales o de servicios. Además ha permitido a las empresas ofrecer una alta variedad de productos, con un bajo coste, altos niveles de productividad, de velocidad de entrega, con un mínimo de stock y niveles óptimos de calidad. Cuatrecasas en el citado artículo propone una metodología para la implementación del Lean Management en un sistema de producción de servicios y, para completar, entre muchos otros, hay un estudio en el cual se pone en práctica y se prueba la eficacia de las técnicas Lean en el sector de la construcción [1], mediante un estudio de caso en el que se lleva a cabo

con éxito la implantación del Lean, llegando los autores a conclusiones muy especiales tal como que los instrumentos de la gestión Lean son realmente aplicables a su sector, que el compromiso de la dirección es el factor más importante. Revelan que los trabajadores disfrutan ser parte de una planificación estructurada y del proceso de toma de decisiones, pero sobre todo que el entrenamiento de los trabajadores es un aspecto clave para el éxito.

### **Los 6 Pasos para Generar un Procedimiento Lean**

Los 6 pasos de un procedimiento Lean son:

VSM (ValueStreamMmap)/mapa de flujo = Mike Rother y John Shook desarrollaron esta herramienta eficaz como método para identificar el "muda" (desperdicios y desfilarros). Su principal objetivo es ayudar a visualizar los flujos del proceso, definir la vision futura y ver las fuentes de desperdicio en la cadena de valor. Este método contempla 4 pasos:

- ✓ elección de una familia de productos
- ✓ dibujar su mapa de valor actual (VSM)
- ✓ dibujar su mapa de la situación futura (FSM)
- ✓ elaborar un plan de trabajo que transfiera del VSM al FSM.

El mapa se va dibujando a medida que se visita cada zona de la línea de producción y teniendo especial cuidado en detectar todos los mudas posibles, mediante la recolección de toda la información crítica del proceso (número de personas, eficiencias, tiempos de ciclo, etc.). Asimismo, debe realizarse en un plazo breve (horas o como máximo un día). La visión futura debe ser un mapa concreto que se dibuja con la aplicación de los conceptos Lean a la situación inicial después de identificar los muda en la línea.

5S= esta técnica crea un entorno de trabajo adecuado para el control visual y la producción Lean [1]. Se conocen de esta manera porque corresponden a las iniciales de las cinco palabras japonesas que nombran cada una de las cinco fases de esta metodología tan sencilla de aplicar y que brinda tan significativas mejoras en la empresa.

1. Organización - identificar, clasificar, separar y eliminar del puesto de trabajo todos los materiales innecesarios, conservando todos los que sí se utilizan.
2. Orden - identificación y ubicación de todos los materiales necesarios para que cualquiera pueda encontrarlos, usarlos y reponerlos fácil y rápidamente.
3. Limpieza - identificar y eliminar fuentes de suciedad.
4. Estandarización - crear un modo consistente de realizar tareas y procedimientos de tal manera que se preserven los altos niveles de organización, orden y limpieza.
5. Integración - crear la disciplina de las 4 S anteriores y, de esta manera, trabajar permanentemente de acuerdo con las normas establecidas.

QFD = cumplir las necesidades y deseos de los clientes mediante el uso de características técnicas. Se utilizará un equipo multifuncional que incluye ventas, marketing, ingeniería de diseño, ingeniería de manufactura y operaciones. El QFD utiliza un método gráfico con el cual se expresan relaciones entre deseos de los clientes y las características del diseño. Las expectativas y necesidades de los clientes se recolectan mediante técnicas de investigación de mercados: entrevistas, encuestas, exposiciones, etc. Seguidamente se organizan los datos obtenidos en una matriz, la que finalmente muestra las relaciones entre las necesidades de los consumidores y las características de diseño. Se trata de una técnica muy poderosa ya que los requerimientos del cliente se vuelven medibles, alcanzables y potencialmente mejorables.

TPM = se utiliza para permitirle a la industria tener equipos de producción siempre listos. Busca el mejoramiento permanente de la productividad industrial con la participación de todos y por medio de múltiples metodologías. Nakajima (1991) también afirma que los principios básicos del TPM son: Cero Defectos, Cero Inventarios, Rentabilidad Total, Productividad, Participación Total, Mejora de

la Eficacia, Logística y Tercera tecnología, Mejoramiento de los lugares de trabajo '5S'.

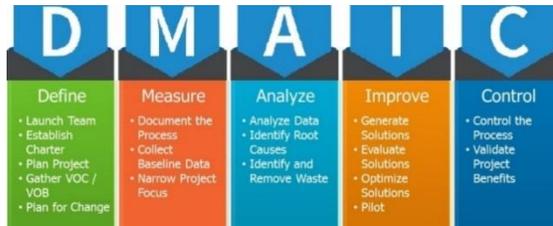
Kanban = técnica JIT comúnmente utilizada para controlar la entrega y el flujo de materiales hacia y a través de la línea de manufactura (White y Prybutok, 2001). Es una 'señal visible' que va adjunta al material que lo acompaña aportando una serie de datos; puede ser una tarjeta, un contenedor o una señal electrónica. Su principal función es dar una orden de trabajo, la cual informa qué se va a producir, en qué cantidad, los medios y cómo transportarlo. En Kanban se fabrica en flujo continuo y sólo se produce porque se vende. Las diversas fases no pueden realizar su tarea hasta que la fase siguiente esté lista para recibir la materia prima/componentes o unidades semielaboradas, lo cual evita ocupar máquinas, equipos y personas en producciones cuya demanda no es inmediata, reduce costes y, al reducir el tamaño de los lotes de fabricación, cualquier incidencia durante el proceso es inmediatamente detectada y resuelta.

SMED = El Single Minute Exchange of Die (SMED), cuyo concepto introduce la idea que, en general, cualquier cambio de máquina o inicialización de proceso debería durar no más de 10 minutos. Reúne un conjunto de técnicas ideadas por Shigeo Shingo cuyo objetivo consiste en reducir los tiempos de cambio, de tal manera que éstos no obstruyan el flujo continuo. Es importante aclarar que este tiempo es el comprendido desde que se detiene la máquina para proceder al cambio de lote hasta que la máquina empieza a fabricar la primera unidad del siguiente producto en las condiciones especificadas de tiempo y calidad.

## **METODOLOGÍA**

El mercado y el mundo que nos rodea se trata siempre de una competencia constante por dar los mejores productos al mejor precio y lo más rápido posible. Para lograr esto es esencial que la compañía pueda ofrecer productos sin defectos y para hacerlo en el tiempo requerido necesitan que el área de diseño en este caso esté operando al máximo nivel posible. Uno de los métodos más populares en el

mercado es el Six Sigma. Dentro del Six Sigma está el DMAIC que trabaja centralmente con la organización de los productos o áreas. La implementación consta en cinco pasos y estos te ayudan a enfocarte en un objetivo teniendo una visión clara del problema. También te ayuda a definir los controles y las cosas que hay que hacer para que el problema no siga ocurriendo.



**Figura 1**  
**Metodología DMAIC**

### **Definir**

El equipo está formado con un propósito específico en mente. Esto es lo que define la etapa. El equipo necesita sentarse juntos y definir el alcance, la meta, el presupuesto, la duración y el problema. El líder del equipo hace un documento de fletamento en el que mencionan todos los aspectos anteriores en detalle completo. Entonces, el trabajo comienza. El equipo define el problema y luego se pone a buscar la causa raíz y encontrar maneras de eliminar esa causa. La comprensión de la gestión de procesos empresariales ayuda al equipo en esta etapa de la metodología DMAIC [2].

### **Medir**

Aquí se mide el rendimiento del proceso. Se mide la retroalimentación de las personas que fabrican productos, la retroalimentación de los clientes que utilizan los productos y la forma en que se procesa el producto. El equipo también echa un vistazo a las estrategias de crecimiento del negocio. En esta fase, la declaración del problema y el contrato del proyecto se refinan con frecuencia como resultado del establecimiento de una línea de base precisa para las métricas que se están apuntando. Esto también se conoce como el paso de recolección de datos. Todos los datos relevantes, importantes

para el producto, y los procesos seguidos para fabricar el producto se recogen en esta etapa [3].

### **Analizar**

Es el análisis de los datos recogidos en la fase anterior. Es importante analizar la retroalimentación dada por los clientes, ya que son los usuarios finales del producto y para lo que el producto necesita para satisfacer sus necesidades. En esta etapa, se identifica la causa raíz del problema. Un cuadro de proceso, aquí, ayuda al equipo a entender dónde ha ido mal el proceso de fabricación del producto.

### **Mejora**

El diagrama de proceso ayuda al equipo a rediseñar el proceso, después de eliminar los problemas. Se destacan los cambios y mejoras a incorporar, para eliminar defectos. En esta etapa se utilizan los conceptos de gestión de la calidad total y de fabricación reducida. La documentación acompaña el nuevo cuadro de proceso, que proporciona los cambios realizados en el proceso, en detalle. El trabajo en esta etapa se hace fácil, si el equipo ha reunido suficientes datos [3].

### **Control**

Una vez diseñado el nuevo proceso, la organización sustituye el proceso antiguo por el nuevo. El equipo supervisa de cerca el funcionamiento del nuevo proceso y asegura que no haya problemas en el nuevo proceso. Monitorean el desempeño del nuevo proceso y aseguran que los productos fabricados estén libres de defectos. Si hay más cambios que hacer, el equipo hace cambios y otra vez mide el desempeño del proceso. Bajo la debida orientación y observancia del equipo, un nuevo proceso es adoptado por la organización [3].

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Aquí discutiremos la implementación de la metodología de DMAIC en el área de diseño en específico en la parte que trabaja con moldeo por inyección.

### Definir

Con la implementación de esta herramienta se busca solucionar el problema que hay en el área de diseño en el moldeo por inyección. El problema es el tiempo que consume arreglar los diseños después de que son manufacturados y como esos errores le están costando dinero a las compañías. Queremos lograr bajar la cantidad de diseño que requieren arreglos. El sector involucrado en este proyecto es toda el área de diseño y todos los empleados que trabajan directamente en el área de moldeo por inyección.

El proceso de implementación no tomará más de una semana y centralmente requiere que los ingenieros encargados del área de diseño se familiaricen con la herramienta. Todo puede hacerse en 7 pasos.

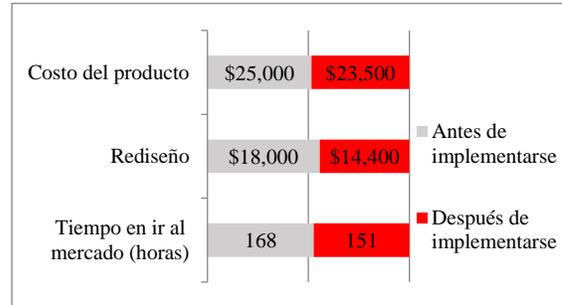
1. Diseñar en PTC Creo, Siemens o Solidworks
2. Una vez se revisen que las dimensiones están correctas vamos a la herramienta de DFMPPro que está dentro del mismo programa de CAD.
3. Una vez abre la herramienta tenemos que seleccionar el proceso para el cual estamos diseñando ya sea para: moldeo por inyección, ensambles, sheet metal, machining, casting y presionamos run para comenzar el análisis.
4. La próxima pantalla nos permitirá escoger la cara del material que queremos analizar y el material.
5. Una vez hagamos todo esto la herramienta nos dirá que partes de la pieza no cumplen con las reglas establecidas y también te dará un consejo de que dimensiones debes poner para arreglar la misma.
6. Corrige la pieza en el instante y vuelves a darle run para ver si ya la pieza cumple con los estándares deseados.
7. Una vez pasó la prueba está lista para ir al proceso de manufactura.

Estos siete pasos se deben hacer con todas las piezas que sean diseñadas.

### Medir

En esta fase recolectamos datos de diferentes compañías que han implementado la herramienta en

su área de diseño y los comparamos antes de implementarse y después de hacerlo. En la Figura 2 podemos ver la disminución del costo del producto, la disminución en el costo de rediseño y en el tiempo que tarda en ir al mercado.



**Figura 2**  
Análisis de Costo

Basado en los cambios que reflejan los datos de la Figura 2 buscamos cinco diferentes compañías que tenían problemas en el área de diseño y podemos ver en la Figura 3 como incrementó la productividad en una de ellas y en las otras el tiempo de verificación mejoró notablemente.

| Compañías           | Productividad | Tiempo de verificación en piezas |
|---------------------|---------------|----------------------------------|
| Celestica           | (+) 12%       |                                  |
| Toshiba             |               | (-) 75%                          |
| Rockwell Automation |               | (-) 60%                          |
| Larsen & Toubro     |               | (-) 85%                          |
| Sulzer              |               | (-) 15%                          |

**Figura 3**  
Incremento en la Productividad

### ANALIZAR

El principal problema en el área de moldeo por inyección es todos los errores que pueden surgir de los diseños hechos en cad. Esto se debe a que las piezas y diseños que se hacen tienen pequeños detalles que muchas veces no se ven hasta que pasan por el proceso de manufactura y lo tienen físicamente. Este proceso le quita mucho tiempo al área de diseño y de manufactura y como resultado hace que la compañía pierda dinero. La mejor manera de hacer que este proceso sea más eficiente es instalando la herramienta llamada dfmPro que complementa el programa de CAD y al mismo tiempo capacitar a los empleados. Con esta

implementación buscamos reducir el costo de rediseño, el tiempo que tarda el producto en ir al mercado y el precio del mismo.

### **Mejora**

En este caso no pudimos implementar el programa en una compañía como tal pero adquirimos varios datos de compañías que si han implementado dicha herramienta y claramente se puede ver cómo han mejorado notablemente. En la figura 3 se puede ver como la productividad de Celestica incrementó un 12% con tan solo implementar la herramienta. En las compañías tales como Toshiba el tiempo de verificación de piezas bajó un 75%, en Rockwell Automation bajó un 60%, en Larsen & Toubro fue un increíble 85% y finalmente en Sulzer bajó un 15%.

### **Control**

El objetivo principal de esta última fase es identificar y asegurar que se utilice la herramienta de DFMPPro para todos los diseños. Para llevar a cabo el procedimiento de control se verificará es cada pieza luego de ser diseñada con la herramienta DFMPPro y luego de hacerlo se tomará un 'print screen' de cada pieza con la evidencia del DFMPPro de que la pieza pasó la prueba. Esto ayudará a mantener el control del proceso y a que los cambios sean llevados correctamente. La implementación del DMAIC no debe ser nada compleja porque no requiere tantos cambios, pero si influencia mucho en el resultado y eso se verá mayormente en la producción y el ahorro de dinero.

### **CONCLUSIÓN**

Durante la investigación se pudo identificar la raíz del problema que afecta a las compañías manufactureras que trabajan con máquinas de moldeo por inyección. La producción, calidad y disponibilidad de los productos son las tres cosas más importantes para estas compañías. Si cuidas de esas tres cosas todo se verá reflejado en las ventas y éxito de la compañía. No es una implementación compleja pero con el DMAIC podemos demostrar que tan efectivo puede ser el proceso.

### **REFERENCIAS**

- [1] P. Gómez. (2010, Jul.) "Lean Manufacturing: flexibilidad, agilidad y productividad," en *Revistas Lasalles*, pp. 1–14. [Online]. Disponible: <http://revistas.lasalle.edu.co/index.php/gs/article/viewFile/946/853>.
- [2] T. Devane, *Integrating Lean Six Sigma and High-Performance Organizations: Leading the charge toward dramatic, rapid and sustainable improvement*, Wiley Imprint, 2004.
- [3] J. Maxey, M. Price, D. Rowlands and M. George, *The Lean Six Sigma Pocket Tool Book*, New York, USA, McGraw-Hill, 2005.