

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LOS  
TIEMPOS DE CAMBIO DE MOLDE BAJO SISTEMA SMED EN LAS  
INYECTORAS DEL ÁREA DE PLÁSTICOS EN UNA EMPRESA DEL NORTE  
DEL CAUCA**



FUNDACIÓN  
**UNIVERSITARIA  
DE POPAYÁN**  
35 ANIVERSARIO

JUAN DAVID REBOLLEDO

ALEJANDRO SANCLEMENTE

**Fundación Universitaria de Popayán**

Ingeniería Industrial

Línea de Investigación: Productividad

**Popayán, junio de 2020**

**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE LOS  
TIEMPOS DE CAMBIO DE MOLDE BAJO SISTEMA SMED EN LAS  
INYECTORAS DEL ÁREA DE PLÁSTICOS EN UNA EMPRESA DEL NORTE  
DEL CAUCA**



**JUAN DAVID REBOLLEDO**

**ALEJANDRO SANCLEMENTE**

Trabajo de investigación para optar al título de:

**Ingeniero Industrial**

**Director:** Julián Andrés Gómez

**Ingeniero industrial**

**Fundación Universitaria de Popayán**

Ingeniería Industrial

Línea de Investigación: Productividad

**Popayán, junio de 2020**

**NOTA DE ACEPTACIÓN:**

**Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Fundación universitaria de Popayán FUP para optar al título de Ingeniero Industrial**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Popayán, febrero de 2020.**

## **TABLA DE CONTENIDO**

<b>INTRODUCCIÓN</b>	11
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	12
<b>1.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA</b>	12
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b>	12
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b>	13
<b>3. OBJETIVOS</b>	14
<b>3.1. OBJETIVO GENERAL</b>	14
<b>3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	14
<b>4. MARCO REFERENCIAL</b>	15
<b>4.1. LOCALIZACIÓN</b>	15
<b>4.2. MARCO TEÓRICO</b>	16
<b>4.2.1. Antecedentes de la investigación</b>	16
<b>4.2.2. Proceso de inyección de plástico</b>	17
<b>4.2.3. Lean Manufacturing</b>	20
<b>4.2.4. Sistema SMED</b>	20
<b>4.2.4.1. Generalidades</b>	20
<b>4.2.4.2. ¿Para qué sirve el SMED?</b>	21
<b>4.2.4.3. Fases del SMED</b>	21
<b>5. METODOLOGÍA</b>	24
<b>6. RESULTADOS</b>	25
<b>6.1. PROCESO ACTUAL DE CAMBIO DE MOLDE</b>	25
<b>6.1.1. Máquinas y productos a fabricar en el área de plásticos.</b>	25
<b>6.1.2. Descripción del proceso general del área de plásticos</b>	27
<b>6.1.3. Fase preliminar SMED</b>	28
<b>6.2. IDENTIFICACIÓN DE OPERACIONES SUSCEPTIBLES A MEJORAMIENTO</b>	28
<b>6.2.1. Fase 1 SMED (Identificación y separación de operaciones internas y externas)</b>	28
<b>6.2.2. Fase 2 SMED (convertir operaciones internas a externas)</b>	30
<b>6.3. PLAN DE MEJORAMIENTO</b>	31
<b>6.3.1. Fase 3 SMED (Optimización de operaciones internas y externas)</b>	31
<b>6.3.1.1. Optimización de operaciones externas</b>	31

<b>6.3.1.2. Optimización de operaciones internas</b>	32
<b>7. DISCUSIÓN</b>	34
<b>8. CONCLUSIONES</b>	35
<b>9. RECOMENDACIONES</b>	36
<b>REFERENCIAS BIBIOGRÁFICAS</b>	37

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1. Clasificación de operaciones</b>	28
<b>Cuadro 2. Plan de acción</b>	33

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1. Resultado fase 2 SMED</b>	31
<b>Tabla 2. Listado de chequeo de actividades de pre alistamiento</b>	31

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1. Localización planta de producción</b>	15
<b>Figura 2. Canasta 9 B</b>	25
<b>Figura 3. Canasta 12 B</b>	25
<b>Figura 4. Canasta 30 B</b>	25
<b>Figura 5. Louver izquierdo y derecho</b>	25
<b>Figura 6. Inyectora Negri Bossi</b>	26
<b>Figura 7. Inyectora Cincinnati</b>	26
<b>Figura 8. Diagrama SIPOC</b>	27



## **LISTA DE ANEXOS**

**Anexo 1. Cursograma analítico proceso de cambio de molde**

39

## RESUMEN

El presente trabajo de grado busca formular una propuesta de implementación para la reducción de los tiempos de cambio de molde bajo sistema SMED en las inyectoras del área de plásticos en una empresa del Norte del Cauca, esta empresa se dedica principalmente al diseño, desarrollo y fabricación de refrigeración comercial, congeladores y canastas plásticas. Realizar este trabajo es de importancia para la comunidad educativa, principalmente para los investigadores, ya que permite mediante la línea de investigación de productividad aplicar el conocimiento que existe acerca del sistema SMED en una empresa real para intentar solucionar un problema concreto, a la vez que es muy importante para la empresa, ya que reducir el tiempo en el proceso de cambio de moldes en las máquinas inyectoras representaría ahorros de costos y de tiempos. Esta investigación se considera del tipo descriptivo, se realizó un análisis documental acerca de la aplicación del sistema SMED en empresas de procesamiento de plástico, a la vez que fue indispensable realizar un análisis de datos internos de la empresa, para lo cual se analizaron diversos documentos como manuales, toma de tiempos, hojas de producción, entre otros.

Tras aplicar las cuatro fases del SMED, se logró disminuir el tiempo de cambio de molde a 1 hora y 31 minutos, o sea, 42 minutos menos, lo que equivale a una reducción del 34% en el tiempo total de cambio de molde.

**Palabras clave:** optimización de procesos, inyectoras, procesamiento de plásticos.

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo de investigación pretende entregar a la empresa objeto de estudio una propuesta de optimización en uno de sus procesos productivos. El escenario actual de las empresas manufactureras en el mundo es de una alta competitividad; hoy día, se deben tener productos de alta calidad a costos competitivos, de allí la importancia de trabajos como este que buscan generar en las empresas eficiencia, productividad y ahorro de costos. Existen diversas herramientas que permiten analizar procesos e intentar generar mejoras a los mismos, en este caso particular, en el área de plásticos se cuenta con dos máquinas inyectoras, las cuales producen canastas plásticas en varias referencias y louvers, con un tiempo promedio de cambio de molde entre referencias de 2 horas y media, es así como por intermedio de la herramienta SMED se pretende reducir el tiempo de cambio de molde en las inyectoras del área de plásticos.

Para poder entender un poco más este tema, se abordan en el marco teórico dos grandes temas, el primero hace referencia al proceso de inyección de plástico, donde se explica en qué consiste, sus ventajas, desventajas, y al mismo tiempo se exponen las operaciones que componen en ciclo del proceso de moldeo. También se explica que las máquinas inyectoras poseen tres partes esenciales, que son la unidad de inyección, la unidad de cierre, y el molde. El otro tema es sobre el sistema SMED, sus generalidades, cuál es su utilidad, y las fases que lo componen.

Más adelante en el estado del arte se pueden observar algunos trabajos realizados bajo la metodología SMED, en ellos se puede observar cuál era el objetivo que pretendían, las técnicas o metodología que utilizaron, y cuáles fueron sus resultados más importantes, todo esto, para luego poder generar algún tipo de discusión frente a los resultados del presente trabajo.

Este trabajo de investigación se cataloga del tipo descriptivo, y por cada objetivo específico se ha trazado una ruta metodológica para poder cumplirlos, a la vez que se enlazan con las cuatro fases metodológicas del SMED. Al final, se logró disminuir el tiempo de cambio de molde a 1 hora y 31 minutos, o sea, 42 minutos menos, lo que equivale a una reducción del 34% en el tiempo total de cambio de molde.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

El escenario actual de las empresas manufactureras en el mundo es de una alta competitividad, hoy día, se debe tener productos con calidad a costos competitivos, esto hace especialmente importante la revisión de todos los procesos internos de las empresas, en especial los ligados a la parte productiva, en este sentido, temas como la eficiencia, la productividad y el ahorro de costos son vitales para el crecimiento de las empresas, o en el peor de los casos, su sostenimiento en un mercado cada vez más competido. Existen diversas herramientas que permiten analizar procesos e intentar generar mejoras a los mismos, en este caso particular, en el área de plásticos se cuenta con dos máquinas inyectoras, las cuales producen canastas plásticas en varias referencias, con un tiempo promedio de cambio de molde entre referencias de 2 horas y media, el cual se considera alto, y susceptible de optimización.

### **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Se requiere entonces realizar una propuesta para reducir el tiempo de cambio de molde, en este sentido, el sistema SMED ofrece herramientas que permiten realizar dicho proceso.

Se hace necesario entonces formular la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué propuesta de implementación basada en SMED es adecuada para reducir el tiempo de cambio de molde en las máquinas inyectoras del área de plásticos en una empresa en el Norte del Cauca?

## **2. JUSTIFICACIÓN**

Realizar este trabajo es de importancia para la comunidad educativa, principalmente para los investigadores, ya que permite mediante la línea de investigación de productividad aplicar el conocimiento que existe acerca del sistema SMED en una empresa real, para intentar solucionar un problema concreto. De otro lado, una investigación de este tipo refuerza conocimientos para los autores sobre temas relevantes para la carrera de ingeniería industrial, y permite mediante un caso real, aplicar conocimientos y desarrollar destrezas y habilidades que son necesarias en un futuro ejercicio profesional en el área de producción de cualquier empresa productiva. Cabe resaltar que también es muy importante para la empresa, ya que reducir el tiempo en el proceso de cambio de moldes en las máquinas inyectoras representaría ahorros de costos, de tiempos, a la vez que impactaría de forma directa y positiva la utilidad final del producto, y de la empresa en general; para los empleados, en especial los operadores de la máquina les permite participar en un proceso de mejora continua, a la vez que les representaría algún reconocimiento por la participación en el proyecto de mejora.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una propuesta de implementación basada en el sistema SMED para reducir los tiempos de cambio de molde en las máquinas inyectoras del área de plásticos de una empresa en el Norte del Cauca.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar un análisis del proceso actual del cambio de molde en las máquinas inyectoras.
- Identificar las actividades sobre las cuales se pueden hacer mejoras.
- Diseñar un plan de mejoramiento tendiente a reducir el tiempo de cambio de molde de las máquinas inyectoras.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1. LOCALIZACIÓN

La empresa objeto de estudio está dedicada al diseño, desarrollo y fabricación de refrigeración comercial, congeladores y canastas plásticas; cuenta con más de 78 años de experiencia en el mercado, y es una de las empresas líderes en Colombia en el segmento de refrigeración industrial; en total cuenta con más de 5.000 empleados distribuidos en plantas de producción en Brasil, México, Argentina, y Colombia. En la figura 1 se puede observar la ubicación de la planta donde se va a desarrollar el proyecto, esto es en Colombia, en el Parque Industrial y Comercial del Cauca, Etapa 2 Lote 3, en el municipio de Caloto – Cauca, Colombia.

**Figura 1. Localización planta de producción**



## **4.2. MARCO TEÓRICO**

### **4.2.1. Antecedentes de la investigación**

Un primer trabajo fue desarrollado por (Mamani Laricano, 2018), titulado: optimización del proceso productivo en el área de producción de una industria plástica, el cual tenía por objetivo la reducción de los tiempos de cambios de versión de piezas de un molde, para llevarlos a los mínimos posibles, y de este modo, conseguir aumentar el rendimiento de la máquina de inyección. Para esto, se utilizó la metodología Lean Manufacturing y al final se logró reducir el tiempo de ciclo de la 33.2 segundos por producto a 25 segundos.

(Cuamea Cruz & Archuleta Hernández, 2013) en su artículo: reducción de tiempo de cambio de molde en máquina inyectora de plástico de 3500 toneladas, proponen la implementación de la fase 2 de SMED a una máquina inyectora de plásticos, con la cual lograron la reducción de tiempo de cambio de molde en la inyectora IMM No. 11, a la vez que se redujeron costos de máquina parada, se aumentó la flexibilidad de la prensa, al incrementar el tiempo disponible de producción y de esta manera se afectó positivamente la efectividad total del equipo.

(Aguirre Luna, 2018) en su trabajo de grado: diseño de SMED para moldes de inyección, diseña un método que elimina el tiempo excesivo por cambios de moldes por medio del sistema SMED, al final logra reducir de 53 minutos que toma el cambio de molde, a 20 minutos, significando esto, una reducción del 53%.

De su lado, (Vargas Angeles, 2016) en su trabajo de grado: aplicación del SMED para reducir el tiempo de cambio de molde en una máquina inyectora, busca disminuir el tiempo de cambio de molde, eliminando tiempos muertos e incrementando la productividad en una máquina inyectora, en este sentido, se concluye que en total hubo 69 minutos de reducción en el proceso de cambio de molde.

(Tejedor Anzola, 2019), en su Trabajo de grado titulado: aplicación de técnica SMED en planta termo formado fuera de línea de multidimensionales S.A.S, realiza la aplicación de los pasos del sistema SMED, luego de hacer un diagnóstico de la situación actual, y al final, con la implementación de esta técnica se lograron convertir 5 actividades internas



en externas. Se redujo un total de 65 minutos (1,08 h) de los 365 totales en el cambio general de la máquina TE16. Se disminuyó un 17,8% el tiempo total de cambio general.

(Bautista & García, 2017) en su artículo: propuesta de implementación mediante la herramienta SMED a fin de reducir los tiempos de cambio de molde en la máquina SIDEL de la empresa AMCOR para el Periodo Mayo - Agosto 2017, aplicó herramientas de Lean Manufacturing y Six Sigma en la duración de cambios de molde, el cual fue detectado usando la gráfica de Pareto y con base en un estudio de capacidad se analizó la condición actual del proceso, luego de implementar los pasos de SMED, se realizó una estandarización de actividades y mejora de métodos, que permitieron alcanzar hasta un 90% de disminución en los tiempos de intervención esto con miras a mediano y largo plazo.

Existen otros trabajos, en donde se buscaron fines similares a los anteriormente mencionados, y también se utilizaron técnicas como el SMED, DMAIC, o LEAN SIX SIGMA, y los resultados no distan de los ya mencionados, disminuciones en los tiempos de cambio de molde en algún porcentaje. (Alarcón Falconi, 2014); (Castrillon Moran, 2017); (Gallo Gallo & Patarroyo Hostos, 2016); (Sierra Gayón, 2012); (Escobar Sevilla, 2006); (Bahamon Arredondo & Ramos Jimenez, 2016); (Gonzalez Correa, Guzman Soria, Hernandez Martinez, & Rebollar Rebollar, 2008).

Otros trabajos aportan algunas bases teóricas en cuanto al sistema SMED y los cambios de molde, es el caso de (Espin Carbonell, 2013), quien esboza los fundamentos del sistema SMED y su aplicación en la reducción de tiempos de producción; y (Prada Ospina & Acosta Prado, 2017), quienes realizan una aproximación de los cálculos teóricos y económicos aplicados al molde del proceso de inyección de plástico.

#### **4.2.2. Proceso de inyección de plástico**

(Albarrán Sanchez, 2014), describe el moldeo por inyección como un proceso de fabricación semicontinuo, que consiste en inyectar un polímero, un metal o un material cerámico en estado de fusión en el interior de un molde cerrado a presión y en frío. En este molde se solidifica obteniéndose la pieza final al abrir el molde y eliminar los posibles restos de material solidificado en mazarotas y canales de alimentación del molde.

El autor sostiene que el moldeo por inyección es una técnica muy popular sobre todo en la fabricación con materiales poliméricos, ya que ofrece un modo relativamente simple de producir componentes con geometrías de alta complejidad, con un costo e inversión de tiempo muy bajo. El proceso consiste en fabricar un molde con la forma que deseamos obtener aplicando un factor de contracción que debemos agregar a las medidas de la cavidad para que al enfriarse la pieza moldeada se obtengan las dimensiones deseadas.

Como cualquier proceso, este tiene ventajas y desventajas:

***Ventajas:***

- Altos volúmenes de producción
- Costos bajos de operación
- Automatización del proceso
- Las piezas no requieren de ningún acabado o muy pocos
- Elaboración de piezas de geometría muy compleja, imposible por otros métodos.
- Obtención de diferentes colores y acabados superficiales
- Buena tolerancia dimensional

***Desventajas:***

- Costes altos de máquina de inyección, molde y equipos auxiliares.
- Requiere de presiones y temperaturas más elevadas que otras técnicas de moldeo
- Técnica discontinua

La (ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA, 2007) expone que el ciclo de moldeo tiene 6 pasos:

1. Se cierra el molde.
2. Se calienta para plastificar el material, manteniendo la temperatura en el cañón.
3. Se empuja el material caliente hacia la cavidad del molde.

4. El tornillo mantiene la presión hasta que se enfría el plástico
5. El tornillo retrocede para recoger material nuevo de la tolva y plastificar nuevamente.
6. Se abre el molde y se extrae la pieza

Del mismo modo, refieren que una máquina de moldeo por inyección consta de tres secciones esenciales:

- **Unidad de inyección:** es la parte plastificante del proceso, la cual se encarga de fundir el polímero en una masa homogénea y uniforme. Consta principalmente de tobera, tornillo de empuje, válvula de retención, bandas de calefactoras y cilindro hidráulico. Durante la fase de plastificación el extremo de salida y el tornillo acumulan una reserva o carga de material fundido al frente, el tornillo se mueve hacia atrás en contra del frente de presión mientras gira, con lo cual empuja el material hacia la parte frontal y a su vez ayuda a fundirlo con el rozamiento que genera. Cuando se completa la etapa de plastificación, se abre la válvula de retención de flujo, el tornillo detiene su giro y se le aplica presión que lo convierte en un embolo o pistón que impulsa el material fundido acumulado, a través de la boquilla hacia el molde, que se encuentra montado en la placa porta moldes.

- **Unidad de Cierre:** Es la encargada de sostener el molde y generar la fuerza de cierre mientras se inyecta el polímero, además permite la expulsión de la pieza. El cierre del molde se realiza por medio de una prensa controlada por sistemas hidráulicos o mecánicos. La fuerza de cierre requerida depende de la máxima área proyectada de la pieza a inyectar, y la presión de moldeo. Esta fuerza contrarresta la resistencia que genera el material fundido cuando se inyecta. La unidad de cierre de la inyectora que se encuentra en el laboratorio está conformada por un mecanismo piñón-cremallera, para mover la placa móvil, por medio de palancas de rodillera y mantener la fuerza necesaria para contrarrestar la presión de inyección.

- **Molde:** es sujetado en la unidad de cierre por medio de tornillos, para permitir su fácil instalación, entre la placa fija y la placa móvil de la unidad de cierre. Los moldes constan de las siguientes partes:

- **Cavidad o impresión:** aquí se moldea el producto, puede existir una o varias cavidades

- Canales: por donde fluye el material fundido a inyectarse
- Canales de enfriamiento: Por donde se bombea el agua de enfriamiento para eliminar el calor del material fundido.
- Expulsores: sacan la pieza moldeada de la cavidad

### **4.2.3. Lean Manufacturing**

Para (González Correa, 2007), Lean Manufacturing o manufactura esbelta hace referencia a un conjunto de “Herramientas” que ayudan a la identificación y eliminación o combinación de desperdicios (muda), a la mejora en la calidad y a la reducción del tiempo y del costo de producción.

Hoy en día el Lean Manufacturing System de Toyota se aplica en su totalidad o en variantes a todo tipo de empresas. La Metodología Lean ha ido evolucionando a nuevas aplicaciones específicas como el Lean Health, el Lean Construction y el Lean Office. El punto en común entre todos es la actuación conjunta de directivos, mandos intermedios y operarios, instaurando unos principios de calidad para optimizar el trabajo, mejorar los resultados y aplicar para siempre la Mejora Continua en todas las áreas empresariales. (PROGRESSA LEAN, 2019).

Se considera que a partir del año de 1940, Taiichi Ohno y Shigeo Shingo transformaron la planta de producción TOYOTA y lograron crear lo que hoy conocemos como Lean Manufacturing, de allí la relación existente entre Lean y SMED, ya que fue precisamente Shigeo Shingo quien creó esta herramienta que hace parte del mundo Lean.

### **4.2.4. Sistema SMED**

#### **4.2.4.1. Generalidades**

Es una herramienta de la Mejora continua, que de forma metodológica busca reducir el tiempo de cambio de referencia en máquinas de entornos productivos. SMED es el acrónimo en lengua inglesa de Single Minute Exchange of Die, que en español significa “cambio de matriz en menos de 10 minutos”. (PROGRESSA LEAN, 2019). El SMED nació de la necesidad de reducir el tamaño de los lotes que pasaban por las prensas de

estampación, optimizando para ello el tiempo de cambio empleado en pasar de una matriz a otra. Hoy en día el SMED se aplica a las preparaciones de toda clase de máquinas.

Para hablar sobre el SMED conviene tener claros una serie de conceptos:

***Tiempo de cambio:*** es el tiempo desde que se fabrica la última pieza del producto saliente hasta la primera pieza OK del producto entrante. Por tanto, durante el tiempo de cambio la máquina está parada.

***Preparación:*** operaciones necesarias para el cambio de referencia. Toda preparación es desperdicio (MUDA), ya que no aporta valor para el cliente.

***Preparación interna:*** operaciones de la preparación que sólo pueden realizarse con máquina parada.

***Preparación externa:*** operaciones de la preparación que pueden realizarse con la máquina en marcha.

#### **4.2.4.2. ¿Para qué sirve el SMED?**

El SMED sirve para reducir el tiempo de cambio y para aumentar la fiabilidad del proceso de cambio, lo que reduce el riesgo de defectos y averías. La reducción del tiempo de cambio de referencia puede aprovecharse de dos maneras:

***Para incrementar el OEE y la Productividad.*** Manteniendo tanto la frecuencia de cambio de las referencias como el tamaño de los lotes.

***Para reducir el stock en proceso.*** Incrementando la frecuencia de cambio de las referencias y reduciéndose el tamaño de los lotes.

En 1969 el padre del SMED, el Dr. Shigeo Shingo, definió sus fundamentos al conseguir reducir el tiempo de cambio de una prensa de 1000 toneladas de 4 horas a 3 minutos, de ahí surgió lo de “menos de 10 minutos”. Aunque en la definición de SMED se hable de reducir los tiempos de preparación en menos de 10 minutos, esto no siempre será posible.

#### **4.2.4.3. Fases del SMED**

(Shingo, 1993) establece que el sistema SMED consta de cuatro etapas conceptuales, y para cada una de ellas recomienda técnicas para su aplicación, esto se verá más detallado en los siguientes apartados.

- **Fase 0 ó fase preliminar: no están diferenciadas las preparaciones interna y externa.**

Esta fase está caracterizada por la mezcla de las operaciones internas y externas, como resultado de esto, las máquinas presentan paradas muy largas entre cambios de lote. En esta fase Shingo sugiere realizar un análisis de la realidad del proceso, para eso recomienda realizar una de cuatro técnicas: un estudio de tiempos, un muestreo, entrevista a los trabajadores, o un registro fílmico del proceso, el autor se inclina más por este último, ya que permite en la reproducción el video en conjunto con los operarios que ellos expresen sus opiniones e ideas que pudieran ser puestas en marcha de forma inmediata.

De otro lado, (Muller, 2014) además de las técnicas mencionadas anteriormente, recomienda realizar el Cursograma analítico, el cual es un diagrama que tiene como principal objetivo proporcionar una imagen clara de toda la secuencia de los acontecimientos del cambio de serie, otorga la posibilidad de estudiar las operaciones dentro del cambio de serie. Este diagrama permite: a) identificar las operaciones y parámetros del proceso requeridos para un cambio de serie efectivo, b) identificar las operaciones internas que pueden ser convertidas en externas y aquellas posibles tareas que pueden llevar a trabajo de operarios en paralelo o en las que se puede proponer una mejora tecnológica, y c) individualizar cada operación y discriminar su duración.

- **Fase 1: separación de la preparación interna y externa.**

El autor considera que esta etapa es la más importante del sistema, ya que aunque parezca irracional, es normal encontrarse en las plantas de producción que operaciones que se pueden hacer con la máquina en funcionamiento regularmente se realizan con la máquina parada, Shigeo asegura que si se separan correctamente los procedimientos de preparación interna y externa, se puede reducir el tiempo total de preparación entre el 30% y el 50%. Para esta fase, Shigeo propone trabajar tres técnicas: a) realizar listas de chequeo de las

operaciones necesarias para el cambio de molde, b) realizar comprobaciones funcionales, y c) mejorar el transporte de piezas, herramental, etc. Al final de esta fase ya se han identificado cuáles operaciones son internas, y cuáles son externas.

- **Fase 2: convertir la preparación interna en externa.**

Esta etapa lleva a que por un lado, se tenga que reevaluar si alguna operación está erróneamente catalogada como interna, y de otro lado, se busquen formas de convertir lo interno en externo. Para realizar esto, (Muller, 2014) plantea que para cada operación nos debemos hacer la misma pregunta:

¿Esta operación se podría hacer con la máquina en funcionamiento?

- **Fase 3: Perfeccionar todos los aspectos de la operación de preparación.**

Ya en este punto es necesario reevaluar todas las operaciones en mención y proponer mejores métodos de transporte, mejor disposición de herramientas, entre otras técnicas que mejoren los procesos y acorten el tiempo total de preparación.

## **5. METODOLOGÍA**

Este trabajo es de tipo descriptivo, y para poder cumplir con los tres objetivos propuestos, se desarrolló la siguiente metodología:

### **5.1. Obtención de la información**

Primero se realizó una revisión documental de trabajos que fueran similares al nuestro, para luego definir los modelos teóricos a aplicar. Se analizaron documentos internos de la empresa como manuales, hojas de producción, hojas de tiempos, con el fin de conocer el proceso actual de producción. De la misma forma se entrevistó a los operarios involucrados en el cambio de molde, y se realizaron tomas de tiempos de las operaciones. En este punto se aplicó la fase preliminar de la metodología SMED.

### **5.2. Análisis de la información**

La información obtenida fue organizada, para luego ser analizada y en ese proceso se pudo identificar las actividades sobre las cuales se podría hacer una propuesta de mejora, esto correspondió a la fase 1 y 2 de SMED. Se utilizaron herramientas estadísticas como el cursograma analítico, y el diagrama SIPOC.

### **5.3. Elaboración de la propuesta de mejoramiento**

Para este punto, se desarrolló la fase 3 de SMED, en la cual se optimizaron algunas operaciones y se creó un plan de acción.



## 6. RESULTADOS

### 6.1. PROCESO ACTUAL DE CAMBIO DE MOLDE

#### 6.1.1. Máquinas y productos a fabricar en el área de plásticos.

Las dos inyectoras del área de plásticos manejan 2 productos principales: canastas y louvers, y en total se producen 5 referencias:

- Canasta de 9 botellas
- Canasta de 12 botellas
- Canasta de 30 botellas
- Louver izquierdo
- Louver derecho

En las figuras 2, 3, 4, y 5 se pueden observar los productos terminados en mención:

**Figura 2. Canasta 9 B**



**Figura 3. Canasta 12 B**



**Figura 4. Canasta 30 B**



**Figura 5. Louver izquierdo y derecho**



Estos productos son fabricados en dos inyectoras, una es la Negri Bossi, y la otra es una Cincinnati, las cuales se pueden observar en las figuras 6 y 7.

**Figura 6. Inyectora Negri Bossi**



**Figura 7. Inyectora Cincinnati**



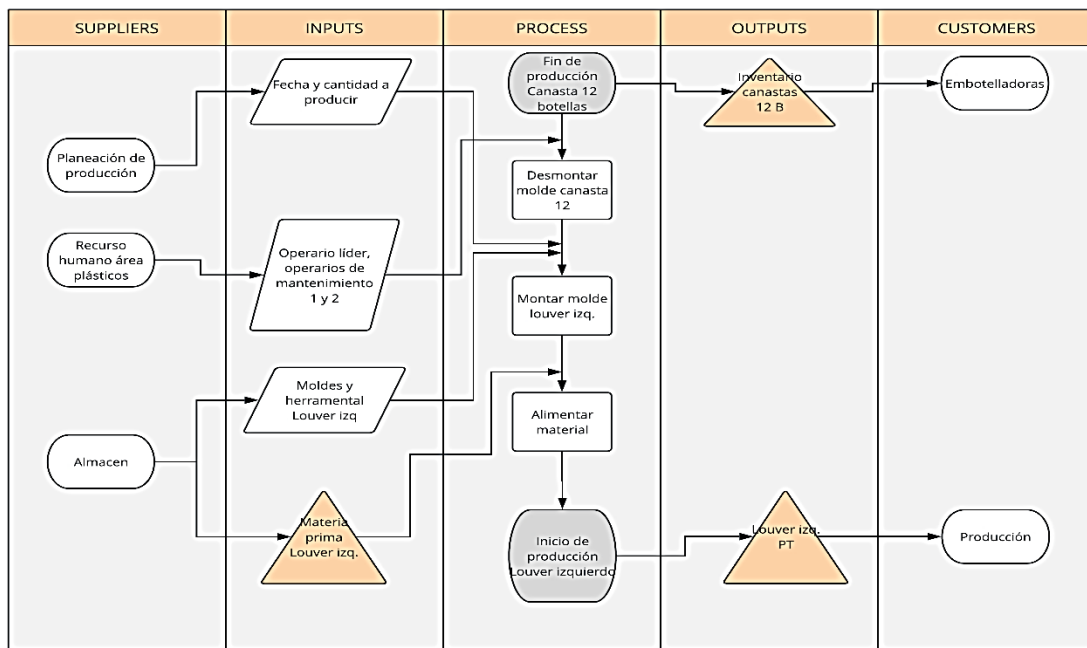
Para el caso objeto de estudio, se analizará el proceso de cambio de molde de una canasta de 12 botellas a un louver izquierdo, se aclara que este proceso es similar y aplica para cada cambio de molde, y los resultados, al menos desde un punto de vista estadístico pueden asumirse como válidos para las 5 referencias.

### 6.1.2. Descripción del proceso general del área de plásticos

Las referencias a producir son programadas desde el área de planeación de producción, quienes determinan fecha y cantidad a producir, todo esto contemplado en un plan de producción. Este plan de producción también contempla las cantidades de materiales a requerir para las corridas de producción, estas materias primas están guardadas en el almacén, al igual que los moldes y el herramental requerido para los cambios. En este proceso intervienen tres personas, el operario líder y dos operarios de mantenimiento. Cabe resaltar que las canastas son productos para clientes externos, al contrario de los louvers, que son utilizados internamente en otros procesos productivos.

Para una mayor ilustración del proceso de cambio de molde, en la figura 8 se presenta el diagrama SIPOC.

**Figura 8. Diagrama SIPOC**



### 6.1.3. Fase preliminar SMED

Según la información recolectada, al interior de la empresa, en el anexo 1 se puede observar el cursograma analítico, donde se explica el proceso de cambio de molde de forma detallada, operación por operación con los tiempos promedio para cada una de ellas.

El cursograma analítico muestra que existen 62 operaciones para el cambio de molde, y en el proceso intervienen 3 operarios, al final se concluye que el tiempo total de cambio de lote es de 2,3 horas aproximadamente, o lo que es igual, 2 horas y 19 minutos.

## 6.2. IDENTIFICACIÓN DE OPERACIONES SUSCEPTIBLES A MEJORAMIENTO

### 6.2.1. Fase 1 SMED (Identificación y separación de operaciones internas y externas)

En el cuadro 1 se pueden ver la clasificación de las operaciones.

**Cuadro 1. Clasificación de operaciones**

Cód. Operación	Descripción operación	Tipo
1	Alistar puente grúa	
1.1	Ir por puente grúa	EXTERNA
1.2	Ubicar el puente grúa al lado de la máquina	EXTERNA
2	Detener operación del robot	INTERNA
3	Purgar barril	
3.1	Indicar en el panel de control (purgar barril)	INTERNA
3.2	Retirar material sobrante del barril	INTERNA
4	Vaciar chiller	
4.1	Desplazarse al chiller	INTERNA
4.2	Cerrar válvulas principales del chiller	INTERNA
4.3	Dirigirse al panel de control del chiller	INTERNA
4.4	Iniciar proceso de vaciado (opción 5)	INTERNA
5	Cambio de material	
5.1	Ubicar recipiente en la salida de material (tolva)	INTERNA
5.2	Abrir salida de material (tolva)	INTERNA

5.3	iniciar proceso de vaciado	INTERNA
5.4	Limpiar residuos de material en la tolva (soplete)	INTERNA
5.5	Abrir salida de material almacenamiento inyectora	INTERNA
5.6	Vaciar residuos de almacenamiento inyectora	INTERNA
5.7	Limpiar residuos de material en el almacenamiento inyectora (soplete)	INTERNA
5.8	Bajar filtro inferior almacenamiento inyectora	INTERNA
5.9	Limpiar filtro inferior almacenamiento inyectora (soplete)	INTERNA
5.10	Montar filtro inferior almacenamiento inyectora	INTERNA
5.11	Bajar filtro superior almacenamiento inyectora	INTERNA
5.12	Limpiar filtro superior almacenamiento inyectora (soplete)	INTERNA
5.13	Montar filtro superior almacenamiento inyectora	INTERNA
5.14	Realizar limpieza área de la tolva	INTERNA
6	Desconectar mangueras de refrigeración	INTERNA
7	Quitar conector de resistencia	INTERNA
8	Desajustar bridas frontales (x4)	INTERNA
9	Desajustar bridas traseras (x4)	INTERNA
10	Lubricar molde	
10.1	Aplicar silicona en el interior del molde y bebederos parte móvil	INTERNA
10.2	Aplicar silicona en el interior del molde y bebederos parte fija	INTERNA
11	Cerrar molde	INTERNA
12	Bajar molde	
12.1	Ubicar puente grúa	EXTERNA
12.2	Ubicar guaya en cáncamos del molde (puente grúa)	INTERNA
12.3	Retirar molde y ubicar al lado de la máquina	INTERNA
13	cambio de herramental agarre de piezas (robot)	
13.1	Ir por el herramental a instalar	EXTERNA
13.2	Desmontar herramental actual	INTERNA
13.3	Montar herramental a utilizar	INTERNA
13.4	Llevar herramental retirado	EXTERNA
14	Ubicar guaya en cáncamos del molde (puente grúa)	EXTERNA
15	Ubicar molde en la máquina	INTERNA
16	Medir y centrar molde en la placa	
16.1	Verificar medidas superiores (flexómetro)	INTERNA
16.2	Verificar medidas inferiores (flexómetro)	INTERNA
17	Llamar parámetros del molde	INTERNA



18	Llenar tolva	
18.1	Tomar material a procesar	INTERNA
18.2	Depositar material en la tolva	INTERNA
18.3	Accionar tolva	INTERNA
19	Ajustar bridas frontales	INTERNA
20	Ajustar bridas traseras	INTERNA
21	Retirar guaya de cáncamos	INTERNA
22	Retirar puente grúa	INTERNA
23	Conectar mangueras de refrigeración	INTERNA
24	Colocar conector de resistencia	INTERNA
25	Purgar barril	
25.1	Indicar en el panel de control (purgar barril)	INTERNA
25.2	Retirar material sobrante del barril	INTERNA
26	Hacer prueba de fugas al molde	INTERNA
27	Llenar Chiller	
27.1	Desplazarse al chiller	INTERNA
27.2	Abrir válvulas principales del chiller	INTERNA
27.3	Dirigirse al panel de control del chiller	INTERNA
27.4	Iniciar proceso de llenado (opción 4)	INTERNA
28	Lubricar molde	
28.1	Aplicar silicona en el interior del molde y bebederos parte móvil	INTERNA
28.2	Aplicar silicona en el interior del molde y bebederos parte fija	INTERNA
29	Cerrar molde	INTERNA
30	Iniciar proceso productivo	
31	Verificar especificaciones de calidad (Pieza1)	INTERNA

En total son 62 actividades, de las cuales 56 (90.3%) corresponden a operaciones internas y sólo 6 (9.7%) a operaciones externas.

### **6.2.2. Fase 2 SMED (convertir operaciones internas a externas)**

El anterior listado se sometió a consideración de los operarios y en cada operación interna identificada se les preguntó si la operación se podía realizar con la máquina en funcionamiento. El resultado fue que, de las 56 operaciones internas, 13 se pueden realizar con la máquina en funcionamiento, la cuales suman 1962 segundos, de esta forma ya habría una disminución en el tiempo de cambio de molde.

En la tabla 1 se pueden observar los resultados de la mejora inicial:

**Tabla 1. Resultado fase 2 SMED**

Descripción	% de operaciones internas	# operaciones internas	# operaciones externas	Tiempo total (Seg)	Tiempo total (horas)
Antes de SMED	90,32%	56	6	8310	2,31
Luego de aplicar la fase 1 de SMED	69,35%	43	19	6348	1,76

Entonces, el resultado de aplicar esta fase se resume en que las operaciones internas pasaron de pesar el 90.3% a pesar el 69.3%, lográndose una disminución de 33 minutos en el proceso de cambio de molde, o sea que pasaría de 2 horas y 19 minutos a realizarse en 1 hora y 46 minutos.

### **6.3. PLAN DE MEJORAMIENTO**

#### **6.3.1. Fase 3 SMED (Optimización de operaciones internas y externas)**

##### **6.3.1.1. Optimización de operaciones externas**

Es necesario entonces ahora crear una lista de chequeo para el pre alistamiento que asegure que estas actividades externas se realicen con la máquina en funcionamiento y no consuman tiempo en el cambio de molde, de la misma manera se balancearán los tiempos entre los tres operarios y algunas actividades se realizarán en paralelo, en la tabla 2 se puede observar las actividades que hacen parte de pre alistamiento y el tiempo total, el cual será descontado del tiempo del cambio de molde.

**Tabla 2. Listado de chequeo de actividades de pre alistamiento**

Descripción operación	Tiempo (Seg)			Realizado SI/NO
	Op1	Op 2	Op3	
Ir por puente grúa		23		

Ubicar el puente grúa al lado de la máquina		43		
Ubicar recipiente en la salida de material (tolva)			55	
Limpiar residuos de material en la tolva (soplete)			152	
Bajar filtro inferior almacenamiento inyectora			155	
Limpiar filtro inferior almacenamiento inyectora (soplete)			320	
Montar filtro inferior almacenamiento inyectora			121	
Bajar filtro superior almacenamiento inyectora		128		
Limpiar filtro superior almacenamiento inyectora (soplete)		104		
Montar filtro superior almacenamiento inyectora		44		
Realizar limpieza área de la tolva		552		
Ir por el herramental a instalar (Molde Louver)			69	
Vaciar chiller (antes que salga la última pieza)	265			
Llevar herramental retirado		54		
Ubicar guaya en cáncamos del molde (puente grúa)	24			
Retirar puente grúa	35			

### 6.3.1.2. Optimización de operaciones internas

Para optimizar las operaciones internas se realizarán algunas tareas en paralelo:

- Desajustar bridas frontales (x4) y traseras (x4)
- Verificar medidas superiores e inferiores (flexómetro)
- Ajustar bridas frontales y traseras
- Lubricar molde

Estas tres operaciones se balancearon entre los operarios 2 y 3.

Entonces, luego de aplicar todos los pasos de la metodología SMED, se logró disminuir el tiempo de cambio de molde a 1 hora y 31 minutos, o sea, 42 minutos menos, lo que equivale a una reducción del 34% en el tiempo total de cambio de molde, cabe resaltar que esta mejora no contempla inversiones en equipos, herramental, u otro tipo de inversión, solo queda la tarea de organizar, documentar y establecer los nuevos procedimientos.



Con esta mejora se logra más flexibilidad a la hora de programar la producción mensual, pero también representa ahorros en dinero, ya que esos 42 minutos menos significan 126 minutos entre los 3 operarios que participan en el proceso de cambio de molde, ahora bien, debemos cuantificar monetariamente de la siguiente forma:

Salario x hora = \$6165, por lo tanto:

Salario x minuto = \$102.75

Ahorro x cambio de molde = 126 minutos x \$102.75 = \$13.000 aprox.

El ahorro mensual dependerá de los cambios que estén programados, pero en promedio, en un mes se pueden realizar 10 cambios de molde, lo que significa un ahorro promedio mensual de \$130.000, lo que significaría, \$1.560.000 anuales.

En el cuadro 2 se puede observar el resumen de las mejoras propuestas y la asignación de responsables.

**Cuadro 2. Plan de acción**

<b>Actividad</b>	<b>Responsable</b>
Crear un formato de pre alistamiento estándar para cambio de molde que integre las operaciones externas descritas anteriormente.	Coordinador de calidad Ingeniero de producción
Crear un procedimiento de pre alistamiento para el cambio de molde.	Ingeniero de producción
Capacitar al personal del área sobre el nuevo procedimiento	Ingeniero de producción Operarios de área
Realizar una prueba con una corrida de producción aplicando el nuevo procedimiento con las observaciones pertinentes de los operarios y mecánicos del área.	Ingeniero de producción Operarios de área
Documentar la prueba (grabar video) para revalidar los tiempos, movimientos y proceso en general	Ingeniero de producción Operarios de área

Ajustar procedimientos	Ingeniero de producción
Estandarizar el proceso	Ingeniero de producción
Reevaluar con el equipo de trabajo del área y considerar hacer una etapa 2 que contemple optimizar de nuevo las operaciones internas, pero profundizando en : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejorar el centrado del herramental</li> <li>• Mejorar el anclaje del herramental</li> <li>• Mejorar eliminar el ajuste del herramental.</li> </ul>	Ingeniero de producción Operarios de área

## 7. DISCUSIÓN

Una gran fortaleza de este trabajo de investigación es la metodología basada en SMED, ya que esta herramienta ha sido ampliamente difundida y aplicada en empresas alrededor del mundo, logrando resultados de diferente índole, pero todos han impactado de manera positiva las organizaciones donde se ha implementado.

Frente a los resultados de la presente investigación, se puede decir que en otras investigaciones los resultados finales tras implementar SMED son muy variados, por ejemplo para el caso de Aguirre Luna (empresa de autopartes), se tenía un tiempo de cambio de molde de 145 minutos, y se llegó a disminuir a 15 minutos, lo que implica una reducción del 90% en el tiempo total de cambio, esto contrasta con las otras investigaciones, donde para el caso de Castrillón Morán (Plásticos TEAM SAS) la reducción fue del 25.4% pasando de 372 minutos a 308 minutos, y el caso de Vargas Ángeles (Baterías Etna) donde la reducción fue del 46% pasando de 147 a 80 minutos, y este caso de estudio, donde la reducción se estima del 34% pasando de 138 minutos a 91 minutos.

## 8. CONCLUSIONES

- En la fase preliminar se pudo constatar que a pesar que la empresa lleva muchos años en el mercado y de ser líder en algunos de los productos que ofrece, tiene un bajo nivel de documentación y estandarización de sus procesos, lo que dificultó el proceso del levantamiento de la información.
- No existe una diferenciación de las operaciones internas y externas, incluso se pudo evidenciar que el cambio de molde empieza luego de apagar la máquina, lo que desde el inicio marca una acción de mejora inmediata.
- Existe una tendencia a que la mayoría de las operaciones son internas (84%), lo que deja una puerta amplia de soluciones, en este trabajo se logró disminuir al 69%.
- Se pudo notar un desbalanceo de las actividades que realizan los tres operarios encargados del cambio de molde, se intentó en la propuesta balancear un poco esos tiempos, razón por la cual se delegaron actividades a los operarios 2 y 3.
- Al final se logró una reducción del 34% en el tiempo de cambio de molde, todo con soluciones de tipo organizativo y de planeación de pre alistamientos, lo que le podría significar a la empresa un ahorro anual promedio de \$1.560.000.

## 9. RECOMENDACIONES

- Se le sugiere a la empresa y más específicamente al ingeniero de producción que retome este trabajo y realice la implementación de la propuesta, de forma que pueda validar los datos y empezar con una segunda fase que contemple la optimización de las operaciones internas enfocadas en mejorar el centrado, al anclaje, y el ajuste del herramental.
- Se les recomienda crear tanto los formatos como los procedimientos necesarios para estandarizar el cambio de molde para todas las cinco referencias que manejan en el área.
- A los estudiantes se les anima a que sigan investigando y aplicando la metodología SMED, para así lograr tener más elementos de tipo comparativo.
- A los profesionales que están a cargo de manejar áreas de producción se les sugiere probar esta poderosa herramienta que es el SMED, ya que con inversiones razonables pueden obtener buenos resultados para optimizar sus procesos.




## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre Luna, J. d. (2018). Obtenido de <http://reini.utcv.edu.mx/bitstream/123456789/483/1/008627.pdf>
- Alarcón Falconi, A. H. (2014). Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8043/1/TESIS.pdf>
- Albarrán Sanchez, J. M. (2014). Obtenido de [file:///E:/TESIS%20Y%20TRABAJOS%20DE%20GRADO/LEAN%20SIX%20SIGMA%20ALEJANDRO%20SANCLEMENTE/DISENO\\_Y\\_FABRICACION\\_DE\\_UN\\_MOLDE\\_PARA\\_IN.pdf](file:///E:/TESIS%20Y%20TRABAJOS%20DE%20GRADO/LEAN%20SIX%20SIGMA%20ALEJANDRO%20SANCLEMENTE/DISENO_Y_FABRICACION_DE_UN_MOLDE_PARA_IN.pdf)
- Bahamon Arredondo, D., & Ramos Jimenez, J. (2016). Obtenido de <http://vitela.javerianacali.edu.co/handle/11522/7696>
- Bautista, E., & García, D. (2017). Obtenido de <https://www.academia.edu/35254051/SMED>
- Castrillon Moran, R. A. (2017). Obtenido de [http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/4313/1/Reduccion\\_tiempos\\_cambio\\_castillo\\_2017.pdf](http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/4313/1/Reduccion_tiempos_cambio_castillo_2017.pdf)
- Cuamea Cruz, G., & Archuleta Hernández, R. (2013). Obtenido de [http://www.irsitio.com/refbase/documentos/101\\_CuameaCruz+ArchuletaHernandez2013.pdf](http://www.irsitio.com/refbase/documentos/101_CuameaCruz+ArchuletaHernandez2013.pdf)
- Escobar Sevilla, M. (2006). Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/5036/1/escobar%203265.pdf>
- ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA. (2007). Obtenido de [https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/2734\\_plimeros.pdf](https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/2734_plimeros.pdf)
- Espin Carbonell, F. (2013). Técnica SMED. reducción del tiempo de preparación. *Revista de investigación 3 Ciencias*, 3-11. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4817582>
- Gallo Gallo, J. A., & Patarroyo Hostos, W. F. (2016). Obtenido de <https://repository.usergioarboleda.edu.co/bitstream/handle/11232/784/Dise%C3%B1o%20de%20un%20modelo%20de%20gesti%C3%B3n%20de%20la%20producci%C3%B3n%20en%20la%20Empresa%20INDUPLAS%20S.A..pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- González Correa, F. (2007). *Manufactura Esbelta principales herramientas*. Obtenido de <http://www.itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/raites/article/view/77>
- Gonzalez Correa, F., Guzman Soria, E., Hernandez Martinez, J., & Rebollar Rebollar, S. (2008). Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/46531891\\_IMPLEMENTACION\\_DE\\_UN\\_PROYECTO\\_DE\\_MEJORA\\_BASADO\\_EN\\_LAS ESTRATEGIAS\\_LEAN\\_MANUFACTURING\\_Y\\_SIX\\_SIGMA\\_CASO\\_DE\\_ESTUDIO\\_BEACHMOLD\\_MEXICO](https://www.researchgate.net/publication/46531891_IMPLEMENTACION_DE_UN_PROYECTO_DE_MEJORA_BASADO_EN_LAS ESTRATEGIAS_LEAN_MANUFACTURING_Y_SIX_SIGMA_CASO_DE_ESTUDIO_BEACHMOLD_MEXICO)

- Karasu, K., Cakmacki, M., Cakiroglu, M., Ayva, E., & Demirel, N. (2013). Improvement of changeover times via Taguchi empowered SMED/case study on injection molding production. 741-748. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224113004739>
- Mamani Laricano, L. F. (2018). Obtenido de [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/624502/Mamani\\_L\\_L.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/624502/Mamani_L_L.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
- Muller, J. (2014). *SMED aplicado a matrices de conformado en frío en una autopartista*. Obtenido de <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/1830>
- Prada Ospina, R., & Acosta Prado, J. (2017). El molde en el proceso de inyección de plásticos para el logro de objetivos empresariales. *Dimesión empresarial*, 157-168. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/diem/v15n1/1692-8563-diem-15-01-00226.pdf>
- PROGRESSA LEAN. (2019). Obtenido de <https://www.progressalean.com/que-es-smed/>
- Reza Hashemzadeh, G., Khoshtarkib, M., & Hajzadeh, S. (2014). Identification and weighting factors influencing the establishment of a single minute exchange of dies in plastic injection industry using VIKOR and Shannon Entropy . 977-984. Obtenido de <http://m.growingscience.com/beta/msl/1456-identification-and-weighting-factors-influencing-the-establishment-of-a-single-minute-exchange-of-dies-in-plastic-injection-industry-using-vikor-and-shannon-entropy.html>
- Shingo, S. (1993). *Una revolución en la producción: el sistema SMED*. Madrid: TGP.
- Sierra Gayón, M. P. (2012). Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/15037>
- Tejedor Anzola, D. E. (2019). Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/15800/6/TejedorAnzolaDevinsonEstiven2019.pdf>
- Vargas Angeles, M. (2016). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/375876337/2-Aplicacion-Del-SMED-Para-Reducir-El-Tiempo-de-Cambio-de-Molde-en-Una-1>

## Anexos

### Anexo 1. Cursograma analítico proceso de cambio de molde

Cód. Operación	Descripción operación	Tiempo (seg)	Tiempo (Seg)					
			Op 1	Op 2	Op 3			
1	Alistar puente grúa	66				●		
1.1	Ir por puente grúa			23			→	
1.2	Ubicar el puente grúa al lado de la máquina			43			→	
2	Detener operación del robot	40	40			●		
3	Purgar barril	338				●		
3.1	Indicar en el panel de control (purgar barril)		153			●		
3.2	Retirar material sobrante del barril		185			●		
4	Vaciar chiller	265				●		
4.1	Desplazarse al chiller		14				→	
4.2	Cerrar válvulas principales del chiller		7			●		
4.3	Dirigirse al panel de control del chiller		5				→	
4.4	Iniciar proceso de vaciado (opción 5)		239			●		
5	Cambio de material	1938				●		
5.1	Ubicar recipiente en la salida de material (tolva)			55		●		
5.2	Abrir salida de material (tolva)			12		●		
5.3	iniciar proceso de vaciado			35		●		
5.4	Limpiar residuos de material en la tolva (soplete)			152		●		
5.5	Abrir salida de material almacenamiento inyectora			98		●		
5.6	Vaciar residuos de almacenamiento inyectora			58		●		
5.7	Limpiar residuos de material en el almacenamiento inyectora (soplete)			104		●		
5.8	Bajar filtro inferior almacenamiento inyectora			155		●		
5.9	Limpiar filtro inferior almacenamiento inyectora (soplete)			320		●		
5.10	Montar filtro inferior almacenamiento inyectora			121		●		
5.11	Bajar filtro superior almacenamiento inyectora			128		●		
5.12	Limpiar filtro superior almacenamiento inyectora (soplete)			104		●		
5.13	Montar filtro superior almacenamiento inyectora			44		●		
5.14	Realizar limpieza área de la tolva			552		●		
6	Desconectar mangueras de refrigeración	215	215			●		
7	Quitar conector de resistencia	115		115		●		
8	Desajustar bridas frontales (x4)	115	115			●		
9	Desajustar bridas traseras (x4)	115		116		●		
10	Lubricar molde	44				●		
10.1	Aplicar silicona en el interior del molde y bebederos parte móvil		35			●		
10.2	Aplicar silicona en el interior del molde y bebederos parte fija		9			●		
11	Cerrar molde	29	29			●		
12	Bajar molde	348				●		
12.1	Ubicar puente grúa		54				→	
12.2	Ubicar guaya en cáncamos del molde (puente grúa)			66		●		
12.3	Retirar molde y ubicar al lado de la máquina		228			●		
13	cambio de herramental agarre de piezas (robot)	540				●		
13.1	Ir por el herramental a instalar			69			→	
13.2	Desmontar herramental actual			179		●		
13.3	Montar herramental a utilizar			238		●		
13.4	Llevar herramental retirado			54			→	
14	Ubicar guaya en cáncamos del molde (puente grúa)	24	24			●		
15	Ubicar molde en la máquina	375	375			●		
16	Medir y centrar molde en la placa	182				●		
16.1	Verificar medidas superiores (flexómetro)		91					■
16.2	Verificar medidas inferiores (flexómetro)		91					■
17	Llamar parámetros del molde	754	754			●		
18	Llenar tolva	85				●		
18.1	Tomar material a procesar			33		●		
18.2	Depositar material en la tolva			46		●		
18.3	Accionar tolva			6		●		
19	Ajustar bridas frontales	415	415			●		
20	Ajustar bridas traseras	275		275		●		
21	Retirar guaya de cáncamos	108		108		●		
22	Retirar puente grúa	35	35			●		
23	Conectar mangueras de refrigeración	177	177			●		
24	Colocar conector de resistencia	107		107		●		
25	Purgar barril	300				●		
25.1	Indicar en el panel de control (purgar barril)		265			●		
25.2	Retirar material sobrante del barril		35			●		
26	Hacer prueba de fugas al molde	207	207			●		■
27	Llenar Chiller	265				●		
27.1	Desplazarse al chiller		14				→	
27.2	Abrir válvulas principales del chiller		7			●		
27.3	Dirigirse al panel de control del chiller		5				→	
27.4	Iniciar proceso de llenado (opción 4)		239			●		
28	Lubricar molde	40				●		
28.1	Aplicar silicona en el interior del molde y bebederos parte móvil			20		●		
28.2	Aplicar silicona en el interior del molde y bebederos parte fija			20		●		
29	Cerrar molde	58	58			●		
30	Iniciar proceso productivo	135	135	135	135	●		
31	Verificar especificaciones de calidad (Pieza 1)	600	600	600	600	●		■
	Totales	8310	4855	2168	2758			