



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**ESTANDARIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO
DE CAMBIO DE MOLDE, MEDIANTE LAS
METODOLOGÍAS SMED Y MTM EN LA EMPRESA
CARDONAPLAST S.A.U.**

Juan Pablo Cortés Arbeláez

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecánica
Medellín, Colombia
2020



ESTANDARIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE CAMBIO DE MOLDE,
MEDIANTE LAS METODOLOGÍAS SMED Y MTM EN LA EMPRESA CARDONAPLAST
S.A.U.

Juan Pablo Cortés Arbeláez

Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecánico

Asesores:

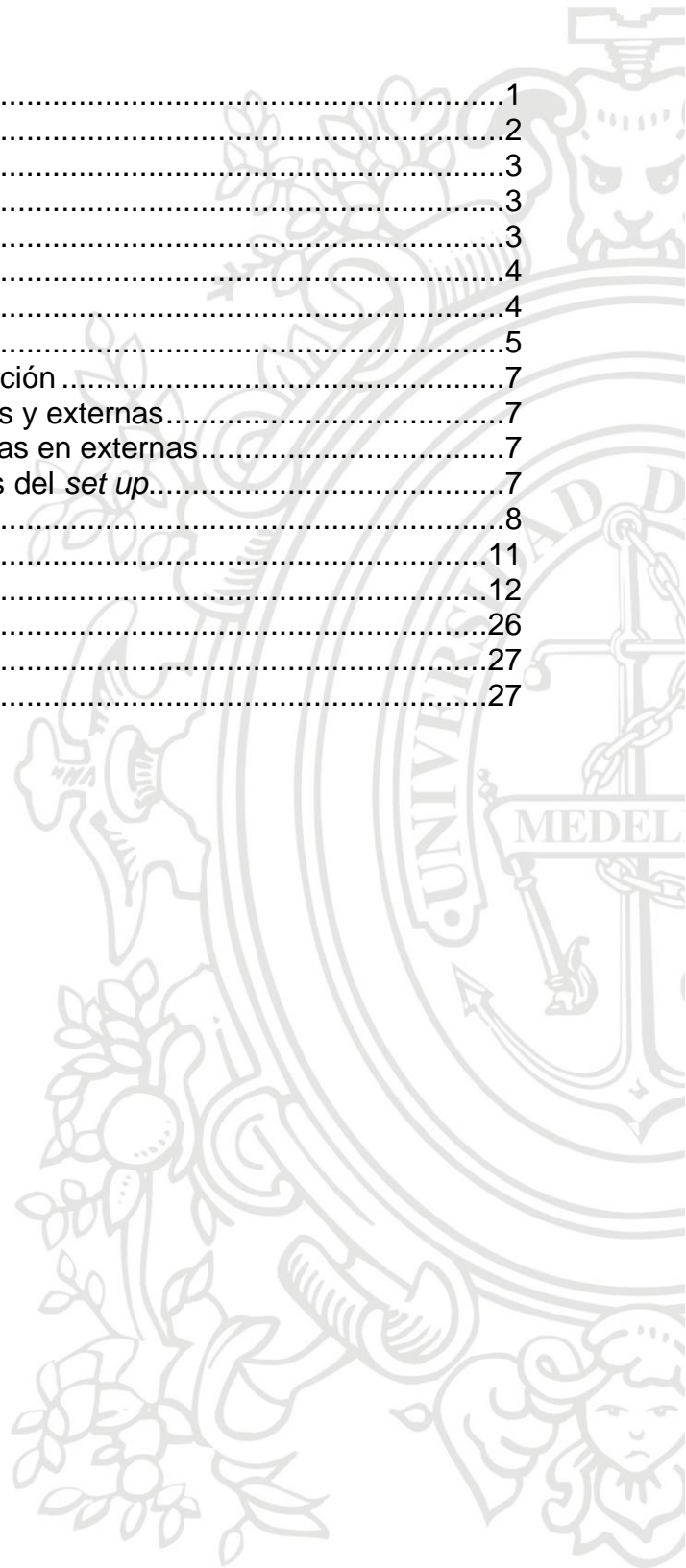
Ph.D. Edwar Andrés Torres López
Ing. Industrial Jean Paul Ferreiro

Línea de Investigación:
Producción y Gestión de Procesos

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecánica
Medellín, Colombia
2020

Índice

1	Resumen.....	1
2	Introducción	2
3	Objetivo.....	3
3.1	Objetivo general	3
3.2	Objetivos específicos	3
	Marco teórico	4
3.3	Estructura de la producción.....	4
3.4	<i>Single-Minute Exchange of Dies</i> (SMED)	5
3.4.1	Etapa preliminar: Observación y medición	7
3.4.2	Etapa 1: Separar operaciones internas y externas.....	7
3.4.3	Etapa 2: Convertir operaciones internas en externas.....	7
3.4.4	Etapa 3: Optimizar todos los aspectos del <i>set up</i>	7
3.5	MTM (<i>Methods-time measuring</i>).....	8
4	Metodología	11
5	Resultados	12
6	Conclusiones	26
7	Referencias bibliográficas	27
8	Anexos.....	27



1 Resumen

La alta demanda del mercado en el sector automotriz, conlleva a las empresas a optimizar sus procesos internos, desde la adquisición de la materia prima hasta la expedición del producto acabado. Por consiguiente, es necesario tener procesos estandarizados, que sean repetibles, principal característica de un proceso auditable. Además, para la valoración del proceso es indispensable definir un tiempo estándar, acorde a condiciones externas, diversidad de operarios, etc.

Existen diversas metodologías que se pueden aplicar para la estandarización y optimización de un proceso. Una de ellas es el SMED (*Single Minute Exchange Die*), el cual optimiza el tiempo de cambio de un utillaje, mediante la separación y conversión de operaciones internas (operaciones con máquina parada) a externas (operaciones con máquina en marcha). La siguiente metodología es el MTM (*Methods Time Measurement*), la cual permite estandarizar y valorar el proceso, realizando un estudio de tiempos.

La llegada de nuevos proyectos a la empresa, ha evidenciado problemas logísticos en la capacidad del almacén, debido a la carencia de recursos para producir más referencias en el mismo tiempo, conllevando a generar gran cantidad inventario. Como parte de la solución, se pretende optimizar el tiempo de cambio de molde, aumentando la disponibilidad de máquina para diversas referencias, generando una cantidad mínima de inventario que permita suplir la demanda del mercado.

Este proyecto expone la implementación de las metodologías SMED y MTM en un proceso de cambio de molde para el área de ingeniería y producción de la empresa CARDONAPLAST S.A.U.

El desarrollo de este proyecto presenta las siguientes etapas: una fase de conceptualización del proceso, adquiriendo toda la información necesaria y asimilación de este. Seguida de una fase de valoración del proceso actual, mediante análisis de una videograbación. La siguiente fase es la aplicación de las metodologías SMED y MTM al proceso, mediante un análisis exhaustivo de las operaciones, la generación de formatos que permitan su modificación, aplicación y auditoría, seguido de un estudio de tiempos. Posteriormente, una fase de formación de operarios y técnicos, mediante explicación del proyecto. Finalmente, una fase de optimización e implementación.

A partir de este trabajo fue posible una reducción del tiempo en el proceso de cambio de molde del 54%, sin realizar cambios en la tecnología de los equipos, lo que permite posteriores análisis con mejores resultados. En base a las condiciones del proceso, se obtiene un tiempo estándar de 52 min, cercano al tiempo real del proceso que es de 49 min, por consiguiente, si quiere mejorar aún más el proceso, de debe invertir en tecnología o mejorar aún más las condiciones laborales del operario.

Palabras clave: Autopartes, Proceso, SMED y MTM.

2 Introducción

Las empresas han de estar en constante crecimiento y adaptación a la demanda del mercado, aumentando la eficiencia de sus procesos. Grandes industrias como Ford y Toyota han encaminado sus esfuerzos a la implementación de metodologías de producción en masa, siendo la compañía japonesa la más relevante para la industria con herramientas como *Lean Manufacturing*, *Just in Time*, *Kaizen*, SMED (*Single-Minute Exchange of Die*), etc.

El principio básico del *Lean Manufacturing* (Manufactura Esbelta) es incrementar la competitividad de las compañías mediante la reducción de costos. Esta busca acercarse, tanto como sea posible, a la condición óptima, es decir, gastar lo indispensable para agregar valor al producto. En este sentido el *Lean Manufacturing* intenta eliminar el gasto injustificado. Los principios del *Lean* están enfocados en la mejora del proceso, la cual, conlleva a un aumento de la eficiencia y esta repercute en alta rentabilidad [1]. Una de las herramientas del *Lean Manufacturing* para lograr una reducción de gastos es SMED, que puede ser traducida como “Cambio Rápido de Herramienta”. En la práctica, SMED es un conjunto de técnicas que hacen parte del *Lean Manufacturing* con el objetivo de reducir el tiempo de preparación de una máquina. Cuando el SMED es aplicado apropiadamente, permite a las máquinas engancharse rápidamente, brindando mayor flexibilidad a la línea de producción.

Los problemas más frecuentes en las empresas manufactureras son diversidad y bajos volúmenes de producción. Generalmente la mayor dificultad resulta ser las operaciones en la preparación y calibración de un equipo, remover herramientas o moldes, etc. Frecuentemente las preparaciones son necesarias para producir variedad de productos en pequeños lotes [2].

Por otra parte, el método de medida de tiempos (MTM, *Methods - Time Measurement*), busca establecer los tiempos para la ejecución de procedimientos, por medio de los tiempos teóricos de ejecución de actividades manuales [3].

Con base en estos elementos, esta propuesta propendía por optimizar y estandarizar el proceso de cambio de molde en la empresa CARDONAPLAST, mediante la combinación de las metodologías SMED y MTM. Para esto, se caracterizó el proceso actual, con un análisis detallado de las operaciones, a la vez que fue estandarizando el tiempo de las mismas. El proyecto se enfocó en la implementación de estas metodologías a un molde técnicamente complejo por sus operaciones y que cicle frecuentemente, obteniendo una guía que pueda ser establecida para todos los moldes de la empresa con cambios mínimos.

3 Objetivo

3.1 Objetivo general

Estandarizar y optimizar el proceso de cambio de molde, mediante las metodologías SMED (*Single Minute Exchange Die*) y MTM (*Methods - Time Measurement*) para el área de producción de la empresa CARDONAPLAST S.A.U.

3.2 Objetivos específicos

- Definir el molde de interés, acorde a su periodicidad de cambios por semana, complejidad y cantidad de operaciones inmersas en el proceso de cambio, e importancia para la compañía (cliente, ciclo de vida del molde, etc.).
- Buscar información técnica del molde e inyectora, tales como planes de proceso, parámetros de inyección, datos técnicos del producto inyectado que permitan evaluar su calidad, torques para los elementos de sujeción, etc.
- Caracterizar el proceso actual, observando las operaciones que se realizan en el cambio del molde definido, desglosándolas lo más posible y midiendo el tiempo que requieren cada una de ellas, además de herramientas y utillajes que precisan.
- Analizar datos obtenidos para la detección de no conformidades.
- Proponer e implementar un plan acción inicial sin el uso de las metodologías SMED y MTM.
- Medir tiempos de las operaciones del proceso, permitiendo un seguimiento de este.
- Proponer e implementar un plan de acción mediante el uso de las metodologías SMED y MTM.
- Formar a los operarios encargados del proceso.
- Optimizar el proceso, mediante auditorias y motivación a la mejora continua (KAIZEN).
- Analizar los resultados obtenidos.
- Redactar el método, aplicable para cada tipo de molde (estandarización).
- Implantación del método desarrollado.

Marco teórico

3.3 Estructura de la producción

Las actividades de producción deben ser entendidas como una red de procesos y operaciones [4], como se presenta en la figura 1.

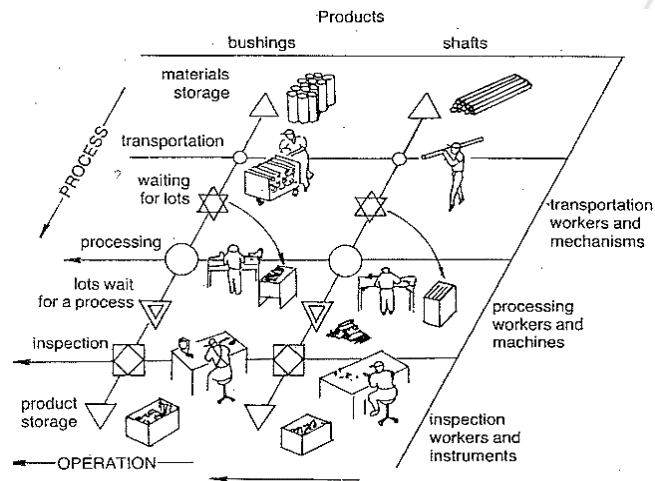


Figura 1. Estructura de la producción. Fuente: Shingō [4].

Un proceso es un flujo continuo por el cual los materiales en bruto son convertidos en productos. Un proceso de manufactura puede ser dividido en cuatro fases:

- Proceso: Ensamble, desensamble, alteración de forma o calidad.
- Inspección: Compasión respecto a un estándar.
- Transporte: Cambio de ubicación.
- Almacenamiento: Periodo de tiempo durante el cual no hay trabajo, transporte, e inspección sobre el producto.

Por su parte, la estructura interna de una operación puede ser analizada como:

- Preparación, después del ajuste: Estas operaciones se realizan posterior a cada lote procesado (*Set up operations*).
- Operaciones principales: Estas operaciones se dividen en tres categorías:
- Operaciones esenciales: Todo proceso que añada valor o transformación al material.
- Operaciones auxiliares: Añadir piezas de trabajo o removerlas de las máquinas.
- Márgenes permitidas: Irregularmente ocurren acciones como descansar, beber agua, paros de máquina, etc. A la vez, se pueden categorizar por fatiga, higiene, operación (desarrolladas solo por una operación específica).

La metodología SMED se enfoca en “*Set up operations*”, regularmente repetidas y realizadas antes o después del proceso de producción con alta diversidad de productos [4]. Esto se presenta en la figura 2.

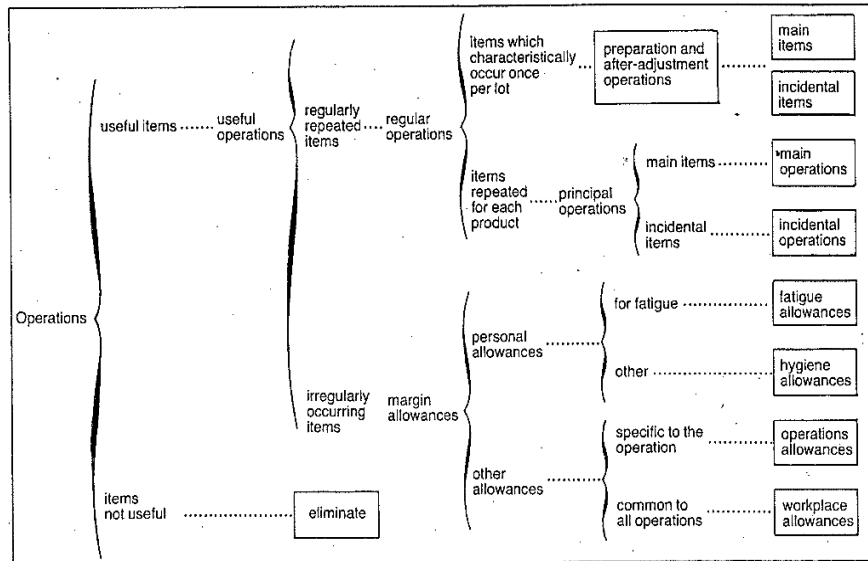


Figura 2. La estructura de las operaciones. Fuente: Shingō [4].

3.4 Single-Minute Exchange of Dies (SMED)

Es una metodología usada para la reducción del tiempo que se requiere en el cambio de equipos, inmersos en un proceso de producción. La esencia del SMED es convertir la mayor cantidad de operaciones externas en internas, y simplificar las operaciones internas remanentes. El nombre de *Single-Minute Exchange of Dies* proviene de reducir los tiempos de cambio a un solo dígito (menor a 10 minutos) [5]. Estas operaciones se definen como:

- Operaciones externas, las cuales se realizan con la máquina en marcha, tales como búsqueda de piezas, útiles, herramientas, etc.
- Operaciones internas, que son llevadas a cabo cuando la máquina se encuentra parada, entre las que se destacan la sustitución de herramientas o útiles, los cambios de programa, etc.

Adoptar el SMED es la manera más efectiva para optimizar el proceso de cualquier cambio de equipo. En Mitsubishi, por ejemplo, el tiempo de cambio (*Set up time*) en una máquina perforadora de ocho ejes se redujo de 24 horas a 2 minutos con 40 segundos en el transcurso de un año. Durante el mismo periodo, en Toyota Motors se obtuvo una reducción en el tiempo de cambio en una máquina formadora de tornillos, pasando de 8 horas a 58 segundos [6].

Estos ejemplos son frecuentes en el tipo de mejoras obtenidas mediante el uso del SMED. En general, las reducciones son entre 80-95% en el tiempo de cambio del equipo [6]. El tiempo de cambio es el periodo que transcurre desde la fabricación de la

última pieza válida de un lote, hasta la pieza válida del siguiente lote. Mediante el proceso de cambio, es frecuente tener la siguiente distribución de tiempo (tabla 1).

Operación	Proporción de tiempo
Preparación después del proceso de ajuste, verificación de materia prima, cuchillas, moldes, calibres, galgas, etc.	30 %
Montaje y desmontaje de cuchillas, etc.	5 %
Centrado, dimensionamiento, ajustes de otras condiciones.	15 %
Pruebas y ajustes.	50 %

Tabla 1. Etapas del proceso de cambio de equipo. Fuente: Shingō [4].

La preparación es la operación que se realiza después del proceso de ajuste, verificación de materiales, herramientas, etc. Esta etapa garantiza que todas las piezas y herramientas se encuentren disponibles y en condiciones de uso. Además, se incluye en esta etapa el almacenamiento de todos los elementos usados previamente. Seguido del montaje y desmontaje de cuchillas, herramientas, piezas, etc., etapa que incluye el desmonte de piezas y herramientas una vez finalizado el equipo anterior, además el montaje de éstas para el siguiente lote de producción. Posteriormente la etapa de mediciones, ajustes y calibraciones hace referencia a todas las mediciones y calibraciones necesarias para el desarrollo de la producción, tales como centrado, dimensionamiento, mediciones de temperatura o presión, etc. Finalmente, las pruebas y ajustes. En esta etapa, los ajustes se realizan después de realizar las pruebas. La mayor dificultad del proceso de cambio recae en el ajuste adecuado del equipo. La figura 3 ilustra las etapas conceptuales que deben ser abordadas en el marco del SMED para planear las mejoras en el montaje en el equipo (*set up*).

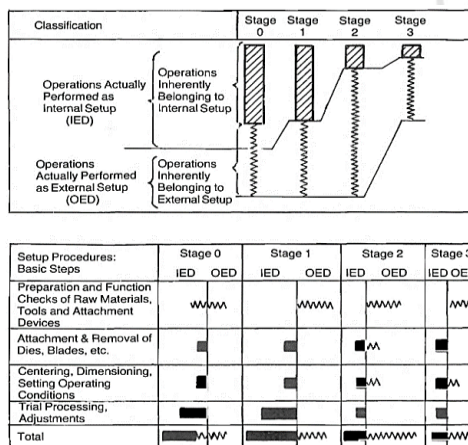


Figura 3. Etapas conceptuales para mejorar el Set up (cambio de equipo). Fuente: Shingō [4].

Las operaciones inmersas en un cambio de equipo se analizan en cada etapa que compone el SMED. A continuación, se detallan estas etapas.

3.4.1 Etapa preliminar: Observación y medición

Generalmente en un proceso de cambio de equipo, las operaciones internas y externas son confundidas, esto es, lo que podría hacerse externo se realiza como interno, por lo que las máquinas permanecen sin uso largos periodos de tiempo. En esta etapa se pretende registrar y analizar el proceso, identificando inconformidades y las diferentes operaciones. Hay diversos métodos para la ejecución de esta etapa:

- Un análisis de producción continua podría ser desarrollado cronometrando el tiempo de cada operación es probablemente la mejor opción. Sin embargo, se requiere de mucho tiempo y de personal capacitado.
- Otra posibilidad es usar un estudio de muestreo; el problema es que solo es preciso donde se realice repetición de operaciones.
- Una tercera opción, es estudiar las condiciones actuales en planta con indagaciones al operario.

El mejor método sería la videograbación de la operación completa del cambio de equipo, la cual resulta ser más eficiente al analizarla con el operario, pues abre el espacio para aportar ideas, viables en el puesto de trabajo.

3.4.2 Etapa 1: Separar operaciones internas y externas

La etapa más importante en la aplicación del SMED es identificar las operaciones internas y externas inmersas en la operación. Claramente se entiende que la preparación de piezas y mantenimiento deberían no ser realizados mientras la máquina está en operación. Sin embargo, es importante observar la frecuencia de estas acciones. Si se centran los esfuerzos en convertir el *set up*, tanto como sea posible, en una operación externa, el tiempo de las operaciones internas puede reducirse entre 30 y 50%.

3.4.3 Etapa 2: Convertir operaciones internas en externas

El convertir las operaciones internas a externas conlleva a una reducción importante en el tiempo del proceso. Pero incluso esta reducción significativa de tiempo es insuficiente para alcanzar los objetivos del SMED. Esta etapa envuelve dos importantes conceptos:

- Reexaminar las operaciones para observar si cualquier operación es asumida equivocadamente como interna.
- Encontrar la forma para convertir las operaciones internas en externas.

Es importante comprender la verdadera función de la operación, dejando a un lado hábitos adquiridos con el tiempo.

3.4.4 Etapa 3: Optimizar todos los aspectos del *set up*

Aunque la reducción de tiempo a un solo dígito puede ser ocasionalmente alcanzada con el mayor número de operaciones externas dentro de un proceso, no es frecuente. Esto porque se deben concentrar los esfuerzos en optimizar cada operación interna y externa.

3.5 MTM (*Methods-time measuring*)

La metodología MTM es definida como un instrumento para describir, estructurar y ajustar puestos de trabajo mediante procesos definidos, buscando ser una eficiente guía para los sistemas de producción. Esta puede ser usada en cualquier campo donde se requiera planear, organizar y desarrollar una labor humana ejecutándola de la forma más efectiva. La metodología justifica la premisa “evitar costos en lugar de reducirlos”, es decir, un proceso planeado perfectamente puede ser ejecutado desde el inicio sin incurrir en sobrecostos debido a las ineficiencias del proceso [7].

MTM permite analizar cualquier operación o método manual mediante su descomposición en los movimientos básicos requeridos para su realización, a los cuales se les asigna un tiempo predeterminado acorde a su naturaleza y las condiciones bajo las cuales es ejecutado [5]. La metodología MTM se basa en estos movimientos básicos: alcanzar, asir, mover, posicionar, soltar (figura 4). Estos movimientos componen entre el 80 y 85% de las operaciones manuales. Las siguientes acciones son usadas para describir dichos movimientos: hacer presión, separar, rotar, movimientos de cuerpo y funciones visuales [7].

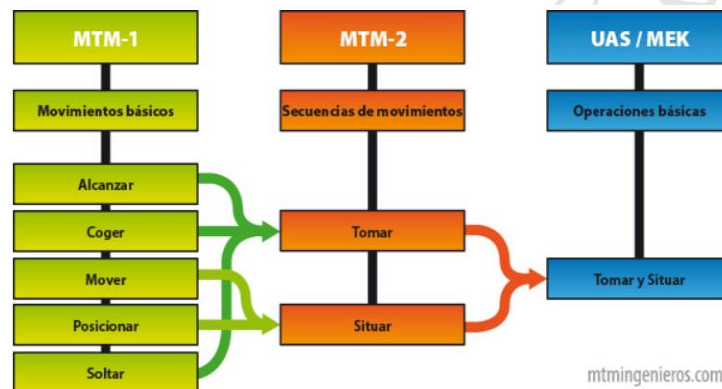


Figura 4. Diferentes tipos de análisis MTM. Fuente: MTM [7].

La figura anterior muestra las diferentes aplicaciones de la metodología MTM, desde el método básico. Las siguientes organizaciones han aportado al desarrollo de esta metodología.

- GPD (MTM-General Purpose Data-1963) American MTM Association.
- MTM-2 (1966)-Swedish MTM Association.
- MTM-SD (Standard-Daten-Basiswerte – Basic Values MTM).
- MTM-UAS (Universal Analysis System).
- MEK (MTM for individual production and for the small series).

A medida que se aplican los diferentes métodos, se disminuye la dificultad y el dominio de la metodología, debido que el análisis comienza desde una operación más simple, hasta secuencias y movimientos básicos. El método más fácil de aplicar es el UAS/MEK, ya que en este se analizan las operaciones básicas, mientras que en el

MTM-2 y MTM-1, se analizan las secuencias de movimientos y los movimientos básicos (agacharse, sentarse, girar, etc.) respectivamente. Por consiguiente, se reduce el tiempo de análisis, por ende, los costos.

Acorde con *Shingō* [6], la metodología MTM debería ser considerada como un proceso de mejora continua, con seis etapas en su aplicación (figuras 5 y 6) a un puesto de trabajo y cuatro etapas en su aplicación a una empresa.

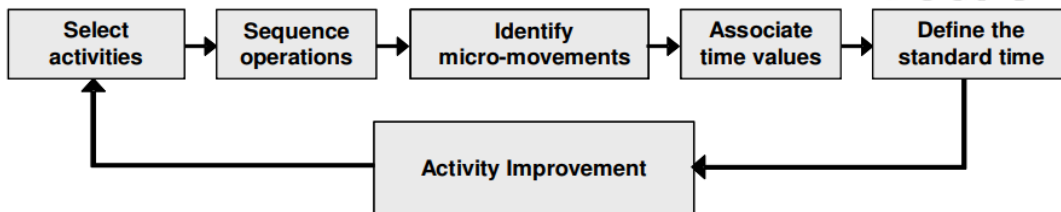


Figura 5. Proceso de mejora continua en la aplicación del MTM, en puesto de trabajo. Fuente: *Shingō* [6].

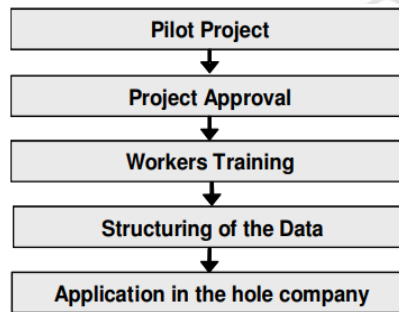


Figura 6. Proceso de mejora continua en la aplicación del MTM en una empresa. Fuente: *Shingō* [6].

La metodología MTM permite obtener un tiempo estándar o básico (ecuaciones 1 y 2) en el desarrollo de un proceso, mediante el cronometraje de las operaciones y la aplicación de unos factores o suplementos (tabla 8). Mediante este estudio, se puede identificar si el proceso tiene un clico adecuado de trabajo, permitiendo optimizarlo tanto en tiempo como en condiciones que afectan la comodidad del operario.

$$T.B = \frac{\text{Tiempo observado} * \text{Valor del ritmo observado}}{\text{Valor de ritmo tipo}} \quad ; \quad T.T = T.B * \text{Suplemento} + T.B$$

Ecuaciones 1 y 2. Cálculo del tiempo estándar y tiempo tipo. Fuente: *Kanawati* [9].

Este análisis es subjetivo, ya que el valor de actividad o ritmo observado es definido a percepción del analista, su rango es de 60 a 135, donde el ritmo tipo es de 100. La experiencia del analista es fundamental, ya que se puede confundir al momento valorar una actividad donde se requiere mayor precisión que ritmo.

Tabla I. Puntos asignados a las diversas tensiones: resumen

Tipo de tensión	Grado		
	Bajo	Mediano	Alto
A. Tensión física provocada por la naturaleza del trabajo			
1. Fuerza ejercida en promedio	0-85	0-113	0-149
2. Postura	0-5	6-11	12-16
3. Vibraciones	0-4	5-10	11-15
4. Ciclo breve	0-3	4-6	7-10
5. Ropa molesta	0-4	5-12	13-20
B. Tensión mental			
1. Concentración o ansiedad	0-4	5-10	11-16
2. Monotonía	0-2	3-7	8-10
3. Tensión visual	0-5	6-11	12-20
4. Ruido	0-2	3-7	8-10
C. Tensión física o mental provocada por la naturaleza de las condiciones de trabajo			
1. Temperatura			
Humedad baja	0-5	6-11	12-16
Humedad mediana	0-5	6-14	15-26
Humedad alta	0-6	7-17	18-36
2. Ventilación	0-3	4-9	10-15
3. Emanaciones de gases	0-3	4-8	9-12
4. Polvo	0-3	4-8	9-12
5. Suciedad	0-2	3-6	7-10
6. Presencia de agua	0-2	3-6	7-10

Tabla 2. Tipos de tensión. Fuente: Kanawati [9].

Este factor general, se obtiene mediante la conversión de los puntos (tabla 3), realizando la sumatoria puntos de cada suplemento, donde solo este es el valor de entrada, es decir, si la sumatoria de puntos es 15, el factor sería es del 12%.

Tabla V. Porcentaje de suplemento por descanso según el total de puntos atribuidos

Puntos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11
10	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12
20	13	13	13	13	14	14	14	14	15	15
30	15	16	16	16	17	17	17	18	18	18
40	19	19	20	20	21	21	22	22	23	23
50	24	24	25	26	26	27	27	28	28	29
60	30	30	31	32	32	33	34	34	35	36
70	37	37	38	39	40	40	41	42	43	44
80	45	46	47	48	48	49	50	51	52	53
90	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
100	64	65	66	68	69	70	71	72	73	74
110	75	77	78	79	80	82	83	84	85	87

Tabla 3. Conversión de puntos. Fuente: Kanawati [9].

“La metodología MTM no intenta reducir el tiempo en el que un operario realiza una actividad, pero elimina los movimientos innecesarios que gastan tiempo” [8].

4 Metodología

La metodología en la que se basa este proyecto buscó fomentar un entorno de aprendizaje y aplicación de conceptos dentro de un sistema de producción. Para el desarrollo de este proyecto se establecieron seis (6) fases descritas a continuación:

Fase 1: Conceptualización del proceso.

En esta fase se realizó la búsqueda de información sobre las metodologías SMED y MTM, además de especificaciones técnicas del proceso, máquina y molde. Se identificaron los fundamentos teóricos para la aplicación de estas metodologías mediante casos prácticos.

- 1.1. Realización de formatos que permitan detallar el proceso.
- 1.2. Inventario de herramientas y utillajes necesarios.
- 1.3. Indagación y observación al personal inmerso en el proceso.

Fase 2: Valoración del proceso actual.

En esta fase se evaluó el proceso mediante una observación detallada de las operaciones, organización y distribución de herramientas y utillajes.

- 2.1. Análisis y medición de tiempo de las operaciones.
- 2.1. Identificación de no conformidades.
- 2.3. Evaluación y propuesta de un plan de acciones.

Fase 3: Aplicación de metodologías SMED y MTM al proceso.

En esta etapa fue ajustado el proceso bajo la guía de las metodologías expuestas, con el objetivo de su estandarización y optimización.

- 3.1. Análisis y medición de tiempo de las operaciones.
- 3.2. Discretización de operaciones internas y externas.
- 3.3. Definición de tiempos estándar para las operaciones.
- 3.4. Conversión de operaciones internas a externas.
- 3.5. Evaluación y aplicación del plan de acciones.

Fase 4: Formación del personal.

En esta etapa se capacitó el personal técnico, mediante la explicación del proyecto, permitiéndoles conocer los objetivos y hacerlos parte de la solución. Posteriormente, se dio a conocer la documentación y donde encontrarla, se socializaron las no conformidades encontradas. Finalmente, se realizaron diferentes cambios de molde siguiendo la nueva operación estándar.

Fase 5: Optimización del proceso.

En esta etapa se evaluaron las acciones ejecutadas sobre el proceso, realizando seguimiento y motivando al personal en desarrollar propuestas de mejora continua.

Fase 6: Elaboración de la documentación.

En esta actividad se diseñaron los formatos que describan el método para realizar la operación, que sea aplicable para diferentes tipos de molde, lo cual implica la estandarización de operaciones.

5 Resultados

Los resultados que se exponen a continuación, se lograron con base en las discusiones adelantadas con los operarios responsables del cambio de molde, el jefe de producción y el asesor técnico. Es relevante mencionar, que se dispuso de recursos humanos y económicos para el desarrollo de este proyecto, implementándose las acciones planificadas en paralelo con la actividad principal de la empresa.

En la primera etapa, se presenta como resultado el inventario realizado de herramientas y utillajes necesarios para el proceso de cambio de molde mediante un *check-list* (figura 7), permitiendo dar claridad de las herramientas faltantes que posteriormente fueron adquiridas. En consecuencia, se eliminó los tiempos de desplazamiento del cambiador de moldes en la búsqueda de herramientas en diferentes áreas de la empresa, se aumenta la funcionalidad de la pistola neumática en varias máquinas con la adquisición de más copas (vasos), se evita el deterioro de componentes al no usar la herramienta adecuada. Finalmente, se tiene un cambiador de moldes autosuficiente, con capacidad de detectar y corregir una avería de baja criticidad.

CHECK LIST HERRAMIENTAS Y UTILLAJES PROCESO CAMBIO DE MOLDE		
HERRAMIENTA O UTILLAJE	ESPECIFICACIÓN	
Juego de bridas	M16 M20 M22x160 - M24x200mm	<input checked="" type="checkbox"/>
Juego de llaves boca fija	6 mm - 36 mm	<input checked="" type="checkbox"/>
Mechas con caras planas	Combinaciones M16 M20 M22 M24	<input checked="" type="checkbox"/>
Juego de destornilladores		<input checked="" type="checkbox"/>
Juego de llaves hexagonas	Tamaño 2,5 - 14	<input checked="" type="checkbox"/>
Llave inglesa	Apertura regulable hasta 52 mm	<input checked="" type="checkbox"/>
Juego de alicates	Pico de loro - universales - de punta - ajustables presión - anillos seeger	<input checked="" type="checkbox"/>
Herramienta de corte	Bisturí	<input checked="" type="checkbox"/>
Martillo	Goma - metálico	<input checked="" type="checkbox"/>
Pistola de torque	Impacto	<input checked="" type="checkbox"/>
Copas pistola de torque	Tamaño 24 - 36	<input checked="" type="checkbox"/>
Linterna	Fijación magnética	<input checked="" type="checkbox"/>
Medidor de nivel	Fijación magnética	<input checked="" type="checkbox"/>
Llave de acceso a máquinas	Control máquina	<input checked="" type="checkbox"/>
Anillos centradores	Combinaciones de diámetros 100 125 160 200mm	<input checked="" type="checkbox"/>
Carro	Organizado en base a 5s	<input checked="" type="checkbox"/>
Bridas plásticas	Largas y cortas	<input checked="" type="checkbox"/>
Mangueras hidráulicas (agua-aceite)	Conexiones rápidas y longitudes 25 50 75 100 cm	<input checked="" type="checkbox"/>
Conexiones eléctricas	Tipo harting 16 pines y longitudes 75 100 125 cm	<input checked="" type="checkbox"/>
Centradores mano robot		<input checked="" type="checkbox"/>
Productos mto preventivo y 5s	Papel, desengrasante, limpiacristales Teflex ad (grasa), Protect G31 (anticorrosivo)	<input checked="" type="checkbox"/>
Elementos de medición	Calibrador, flexómetro y multiméetro	<input checked="" type="checkbox"/>
Control polipasto		<input checked="" type="checkbox"/>
Documentación técnica	Hoja de parámetros, conexiones, layout, etc.	<input checked="" type="checkbox"/>
Ganchos y cáncamos	M16 M20 M22 M24 M30 M32	<input checked="" type="checkbox"/>
Mano robot	Molde entrante	<input checked="" type="checkbox"/>
Recambios diversos componenetes	Ventosas, racores, maguera neumática, etc.	<input checked="" type="checkbox"/>
CARDONAPLAST S.A.U Actualización 8/05/2020		

Figura 7. Check-list de herramientas y utillajes necesarios para el cambio de moldes.

Para la conceptualización del proceso de cambio de molde, y fácil comprensión de todas las operaciones inmersas en este, se desarrolló un diagrama de flujo, el cual detalla y define su secuencia y se presenta parcialmente en la figura 8, y se presenta completamente en el anexo 1.

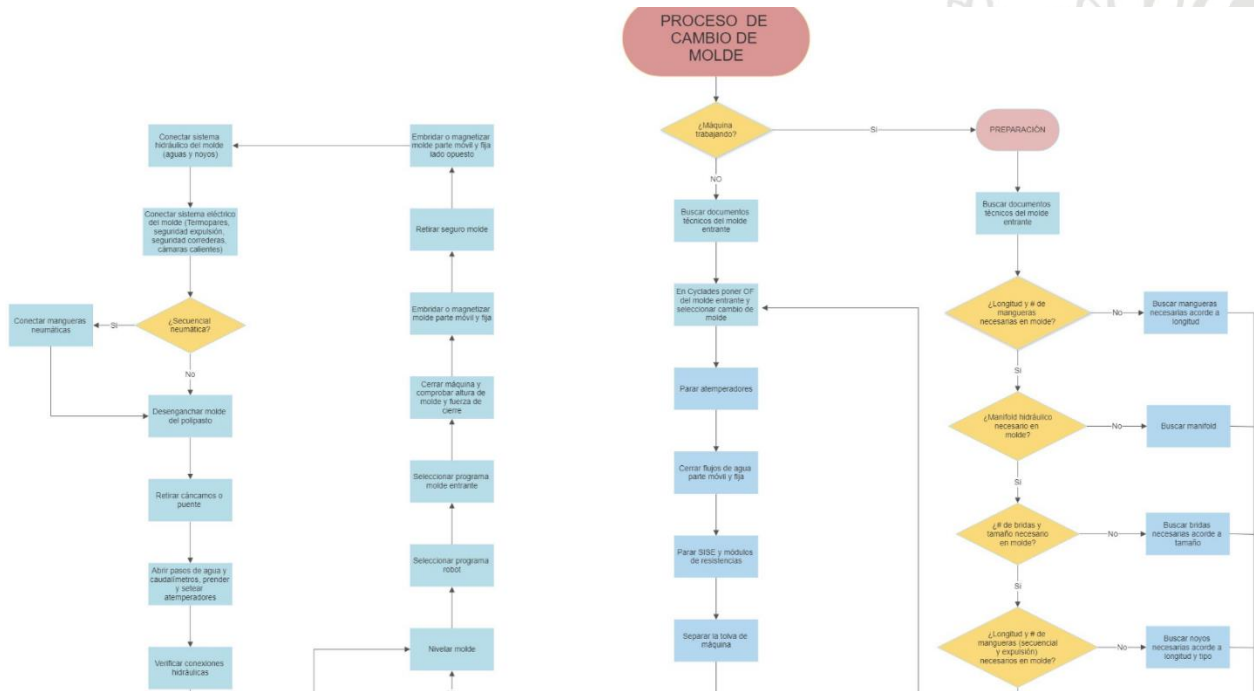


Figura 8. Diagrama del proceso de cambio de molde.

En la segunda etapa, se registraron todas las no conformidades observadas en el proceso, mediante un plan de acciones estipulado por la empresa (anexo 2), donde el asesor interno realizaba su respectivo seguimiento, definía las acciones y designaba las personas encargadas. En este documento se definió cada no conformidad, el problema que originaba en el proceso, y la causa de esta. A continuación, se presenta un registro de una no conformidad:

GROUPE Plastivoalroire 6 4141-2 111106	PLAN D' ACTIONS ACTION PLAN			Seguido por: JPC/JPF	PAGE : 1/1	
	OBJET PURPOSE : INGENIERÍA - SMED					
SUJET / Subject	Dysfonctionnement constaté Dysfunction noted	Cause de dysfonctionnement Dysfunction cause	ACTIONS / ACTIONS	Responsible / Owner	Délai / lead time	Date réalisation / Date of application
DISEÑO DE MECHAS SIN TENER PRESENTE SU MONTAJE Y DESMONTAJE	DESPLAZAMIENTO A TALLER DE MOLDES A BUSCAR UNA PRENSA	SE QUEDA DURA POR USO DE LLAVE DE GRIFO PARA DESMONTAR	1 CARRO DE HERRAMIENTAS SIN PRENSA 2 REALIZAR PLANO EN MECHA PARA USO DE LLAVE-->NOK REBAJAR HEXAGONO	JC / AO	30-sep	1.0k 1.24/07/2020
	PERDIDA DE TIEMPO AL CAMBIAR LA MECHA	DETERIORO DE MECHAS	BRINDAR AL CAMBIADOR DE MOLDE HERRAMIENTAS PARA MANTENER LAS MECHAS EN CONDICIONES (MACHUELO - TARRAJA)	JC/AO	30-sep	
	DETERIORO DE ROSCAS DE MECHAS	SE QUEDA DURA POR USO DE LLAVE STILSON PARA DESMONTAR	1 CARRO DE HERRAMIENTAS SIN PRENSA 2 REALIZAR CARAS PLANAS EN MECHA PARA USO DE LLAVE	JC / AO	S35	1.0k 1.24/07/2020

Tabla 4. Plan de acciones SMED.

La medición de tiempos del proceso actual, se realizó mediante videograbación para el molde Renault (RE-19). Se empleó el método más óptimo para realizar su análisis, ya que se logró acotar y registrar muy precisamente el tiempo de cada operación en un formato de registro de tiempos (anexo 3). Es importante mencionar, que la aplicación de la metodología MTM, se realizó al proceso con la aplicación del SMED. Se presenta a continuación parte del formato de registro de tiempos:

Estudio de tiempos							
Departamento: Producción		Área: Inyección		Estudio núm: 1			
Proceso: Cambio de molde				Hoja núm: 1 de 2			
Máquina: P0400-13				Término: 12:00 pm			
Molde saliente: RE-03				Comienzo: 1:48 pm			
Molde entrante: RE-19				Tiempo trans: 108.5 min			
				Cambiador: Sergi			
				Fecha: 25/06/2020			
				Observado por: J. P Cortés			
				Revisado por: J. P. Ferreiro			
Descripción del elemento	V.	T.O	T.B	Descripción del elemento	V.	T.O	T.B
Comprobación altura y fuerza		60	-	Abrir caudalímetro		55	-
Desplazamiento		25	-	Desplazamiento		5	-
Tiempo perdido		5	-	Verificación con. Hidráulicas		5	-
Desplazamiento		15	-	Desplazamiento		10	-
Abrir máquina		35	-	Perdida de tiempo		6	-
Montar barra		40	-	Desplazamiento		50	-
Buscar hta		15	-	Prender modulo resisten. Y SISE		10	-
Apretar barra		10	-	Buscar hoja de parámetros		5	-
Guardar htas		15	-	Setar cámaras calientes		30	-
Cerrar máquina		30	-	Perdiada de tiempo		10	-
Desplazamiento		15	-	Revisión		144	-
Embridar parte móvil		220	-	Cyclades fin CM		15	-

Nota: V.=Valoración T.O=Tiempo observado T.B=Tiempo básico

Tabla 5. Registro de tiempo del proceso actual.

Como resumen del resultado, se presenta una gráfica (figura 9), donde se puede observar el tiempo total del proceso de cambio (108,5 min), el tiempo efectivo, el tiempo perdido y el tiempo en desplazamientos, donde corresponden al 70,5%, 23,8% y 5,7% del tiempo total del proceso respectivamente. Lo anterior, concluyó que el proceso se puede optimizar en un 23,8% mínimamente.

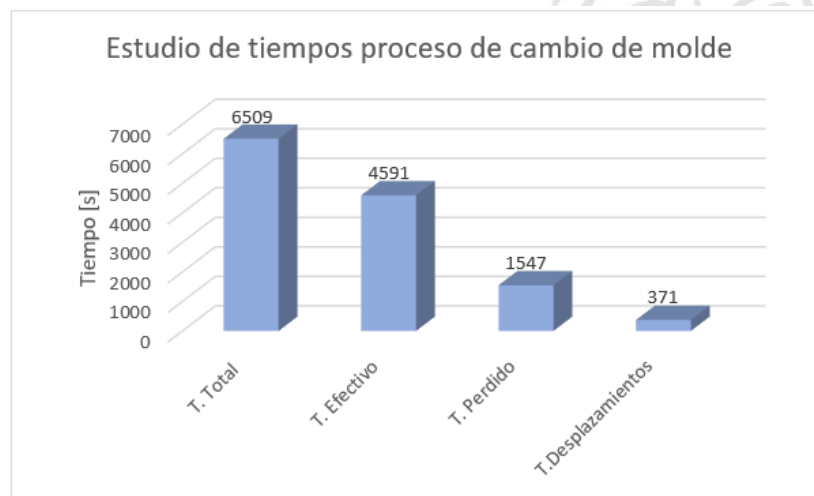


Figura 9. Distribución tiempos del proceso actual.

En la tercera etapa, se presenta como resultado un *check-list* específico para cada molde (figura 10), el cual fue anexado a su documentación técnica. Éste permitió al cambiador realizar una preparación más eficiente, evitando desplazamientos innecesarios en la búsqueda de componentes olvidados o errados, identificar componentes iguales entre el molde entrante y saliente, con el fin de realizar los cambios necesarios del anillo centrador y de la mecha para este último. Finalmente, este permitió registrar todas las operaciones externas del proceso de cambio de molde, aplicadas en la metodología SMED.


		CHECK-LIST CAMBIO DE MOLDE			
		Cambiador	Fecha	Máquina	Molde
				P0400-13	RE-19
PREPARACIÓN					
COMPONENTE O UTILLAJE	DETALLES				
1. Documentos técnicos	DT process, hoja de parámetros, layout mol- <input type="checkbox"/> des				
2. Mando del polipasto	Ubicar molde y puente grúa cercano a má- <input type="checkbox"/> quina				
3. Carro de herramientas	Verificar herramientas, productos para 5s <input type="checkbox"/> productos mantenimiento preventivo molde <input type="checkbox"/>				
4. Juego de bridas	8 juegos M22 (espárragos, tuercas, cuñas y <input type="checkbox"/> 8 gruesos de 35-40 mm)				
5. Cácamos	1 - M24 <input type="checkbox"/>				
6. Anillo centrador	Ø160 mm (máquina Ø100 mm) <input type="checkbox"/>				
7. Mecha	M24 - M20 <input type="checkbox"/>				
8. Secuencial	Hidráulico <input checked="" type="checkbox"/> Neumático <input type="checkbox"/>	2 mangueras - longitud 1 m			<input type="checkbox"/>
9. Noyos					
9. Circuito de agua	L. fijo	3 circuitos (6 mangueras - longitud 75 cm)			<input type="checkbox"/>
	L. móvil	2 circuitos (4 mangueras - longitud 75 m)			<input type="checkbox"/>
10. Conex. Eléctricas	Resistencias	1 Cable (24 pines - longitud 1m)			<input type="checkbox"/>
	S. noyos	1 Cable (16 pines mini - longitud 1m)			<input type="checkbox"/>
	Termopares	1 Cable (16 pines - longitud 1m)			<input type="checkbox"/>
	Secuencial	1 Cable (16 pines mini - longitud 1m)			<input type="checkbox"/>
11. Mano del robot					
12. Cambiar anillo centrador y mecha					
13. Poner cácamos o puente en molde					
Realizado: J. Pablo Cortés		Aprobó: J. Paul Ferreiro		Actualizado: 2/10/2020	

Figura 10. Check-list específico del molde RE-19.

Posteriormente, se discretizaron todas las operaciones internas inmersas en el proceso de cambio de molde, aplicadas en la metodología SMED. Se definió un orden o secuencia de operaciones, dando como prioridad la seguridad y la disminución de recorridos repetitivos a un mismo lugar en diferentes instantes de tiempo. Por consiguiente, se desarrolló un *check-list* general (figuras 11 y 12), aplicable para todo tipo de molde, desde el más complejo hasta el más simple, permitiéndole al personal técnico realizar una formación, un control o auditoría a los cambiadores de molde, asimismo, permitirles a estos últimos tener un modo operativo.

DISCRETIZACIÓN DE OPERACIONES PROCESO DE CAMBIO DE MOLDE	
OPERACIÓN	DETALLES
1. Preparación	Realizar todos los pasos de esta etapa <input type="checkbox"/>
2. Desmontar molde	Cyclades OF molde entrante <input type="checkbox"/>
	Parar atemperadores <input type="checkbox"/>
	Cerrar pasos de gua <input type="checkbox"/>
	Parar atemperadores <input type="checkbox"/>
	Cerrar caudalímetros (si es necesario) <input type="checkbox"/>
2.1 Verificación equipos	Parar equipo SISE y módulo de resistencias <input type="checkbox"/>
	Purgar husillo <input type="checkbox"/>
	Sistema de expulsión molde atrás <input type="checkbox"/>
	Ubicar robot en zona de cambio <input type="checkbox"/>
2.2 Purga de molde	Purgar agua de molde con aire comprimido (opcional) <input type="checkbox"/>
	Abrir molde <input type="checkbox"/>
2.3 Desconectar y mtto preventivo molde	Realizar mtto preventivo molde <input type="checkbox"/>
	Desconectar molde, excepto seguridad noyos <input type="checkbox"/>
	Ubicar elementos retirados en carro <input type="checkbox"/>
	Cerrar molde <input type="checkbox"/>
2.4 Preparación izaje de molde	Poner cáncamos y seguro de molde <input type="checkbox"/>
	Enganchar polipasto <input type="checkbox"/>
	Poner puente seguridad noyos <input type="checkbox"/>
2.5 Desembridar molde parcial	Desembridar parte móvil lado control máquina <input type="checkbox"/>
	Retirar "u" acople barra - sistema de expulsión <input type="checkbox"/>
	Desembridar parte móvil y fija lado opuesto control máquina <input type="checkbox"/>
2.6 Retirar barra expul.	Abrir máquina <input type="checkbox"/>
	Retirar barra de expulsión y mecha del molde <input type="checkbox"/>
	Cerrar máquina <input type="checkbox"/>
2.7 Desembridar molde completo	Retirar bridas faltantes o desmagnetizar <input type="checkbox"/>
	Ubicar elementos retirados en carro <input type="checkbox"/>
2.8 Retirar y ubicar molde	Izar molde abriendo máquina despacio <input type="checkbox"/>
	Abrir máquina completa y llevar expulsión a cero <input type="checkbox"/>
	Ubicar molde acorde a layout y verificar etiqueta <input type="checkbox"/>
	Desenganchar molde y retirar cáncamo <input type="checkbox"/>

Figura 11. Discretización de operaciones en el desmontaje del molde.

DISCRETIZACIÓN DE OPERACIONES PROCESO DE CAMBIO DE MOLDE	
OPERACIÓN	DETALLES
3. Montar molde	Enganchar molde y aproximar a máquina, si los moldes inmersos en el proceso se encuentran en una ubicación lejana, en caso contrario, realizarlo en la preparación <input type="checkbox"/>
3.1 Preparación e izaje de molde	Centrar molde en máquina <input type="checkbox"/> Montar barra expulsora y mecha <input type="checkbox"/>
3.2 Ajustar molde en máquina	Nivelar molde <input type="checkbox"/> Seleccionar programa de molde en máquina <input type="checkbox"/> Cerrar máquina y verificar nivel <input type="checkbox"/>
3.3 Embridar molde y acoplar sistema de expul.	Embridar o magnetizar parte móvil y fija lado control máquina <input type="checkbox"/> Retirar seguro molde <input type="checkbox"/> Embridar o magnetizar parte móvil y fija lado opuesto control <input type="checkbox"/> Retirar seguro molde <input type="checkbox"/>
3.4 Conectar molde	Conectar sistema hidráulico (aguas y noyos) y neumático <input type="checkbox"/> Conectar sistema eléctrico (termopares, seguridad de expulsión, correderas, cámaras calientes) <input type="checkbox"/>
3.5 Liberar molde del polipasto	Desenganchar molde <input type="checkbox"/> Retirar cáncamos o puente <input type="checkbox"/>
3.6 Iniciar, ajustar y verificar circuitos de agua	Abrir pasos de agua, caudalímetros, verificar conexiones hidráulicas, prender y setear atemperadores <input type="checkbox"/>
3.7 Iniciar y ajustar SISE	Prender y setar equipo SISE y módulo de resistencias <input type="checkbox"/>
3.8 Revisión correcto funcionamiento del molde	Abrir molde y verificar expulsión, noyos, corredera <input type="checkbox"/> Montar "u" (Acople expulsión máquina-molde) <input type="checkbox"/> Verificar correcto funcionamiento de las c. calientes <input type="checkbox"/> Cerrar molde, compobar altura de molde, fuerza de cierre y abrir molde <input type="checkbox"/>
3.9 Mano del robot	Cambiar mano del robot y llevar mano robot a carro <input type="checkbox"/> Seleccionar programa del robot y retornarlo a origen <input type="checkbox"/> Cerrar molde. <input type="checkbox"/>
3.10 5s alrededor de la máquina	Ubicar polipasto en zona seguridad <input type="checkbox"/> Realizar 5s en máquinas y herramientas usadas <input type="checkbox"/>
3.11 Cerra cambio de molde en Cyclades	Ajustar fechador en molde <input type="checkbox"/> Finalizar proceso de cambio de molde en Cyclades <input type="checkbox"/> Ubicar elementos retirados en sala de periféricos <input type="checkbox"/>

Figura 12. Discretización de operaciones en el montaje del molde.

Mediante la implementación del SMED, realizando una adecuada preparación (operaciones externas), un desarrollo organizado de las operaciones internas, con el objetivo de disminuir los desplazamientos, así como eliminar los innecesarios, se realizó nuevamente una videograbación, obteniendo los siguientes resultados:

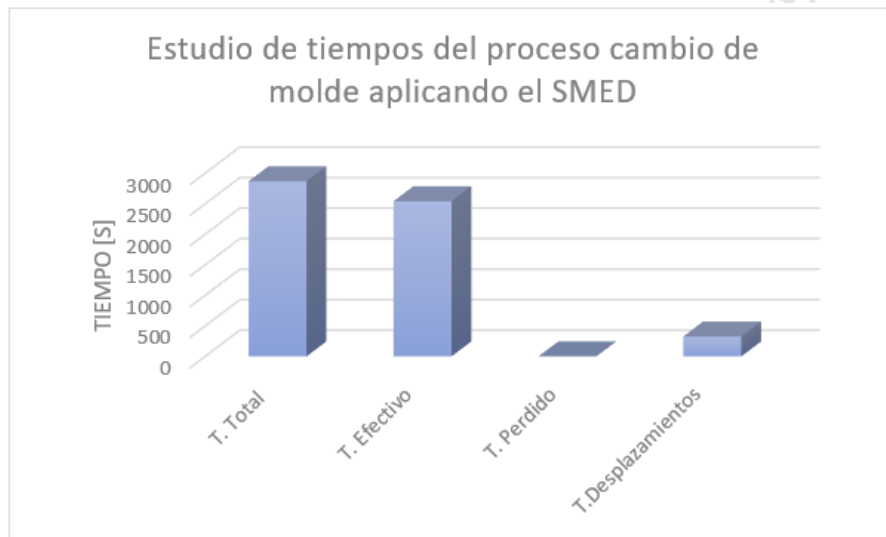


Figura 13. Estudio de tiempos aplicando el SMED.

El resultado del SMED, se presenta mediante una gráfica comparativa del tiempo en el proceso previo y posterior a la aplicación de esta metodología (figura 14).

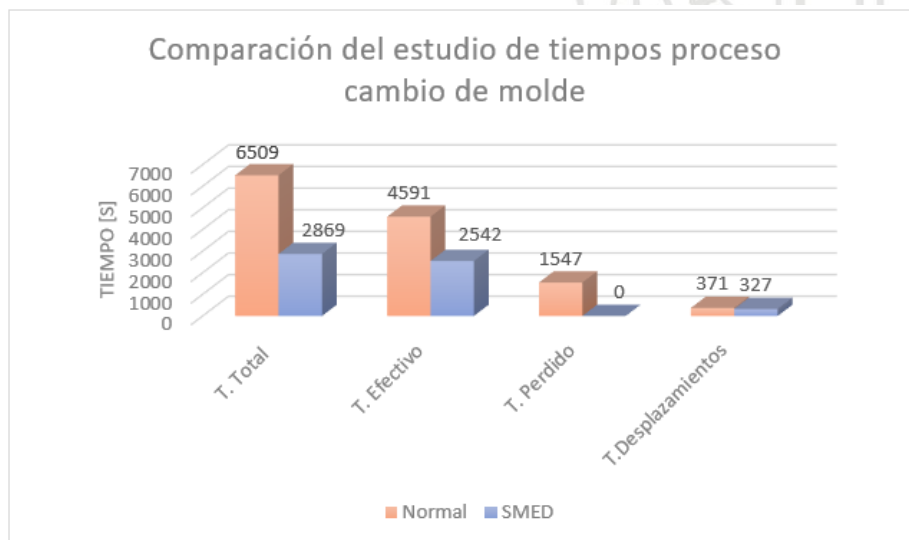


Figura 14. Comparativa del estudio de tiempos en el proceso de cambio de molde.

En la gráfica anterior se puede observar que los resultados del SMED se reduce considerablemente el tiempo del proceso de cambio de molde, pasando de 108,5 min a solo 49 min. Eliminando principalmente la perdida de tiempos, ubicando todas las herramientas necesarias a simple vista, y lo más importante una adecuada preparación.

Se definió un tiempo básico y tiempo tipo para el proceso con la implementación del SMED (anexo 3), mediante los suplementos por descanso, determinado a partir de las tablas de tensiones relativas y conversión de los puntos (tablas 2 y 3). Se observa a continuación, los tiempos básicos y tipos para cada operación, mediante el uso de las ecuaciones 1 y 2.

Estudio de tiempos									
Departamento: Producción		Área: Inyección			Estudio núm: 1				
Proceso: Cambio de molde					Hoja núm: 1 de 2				
Máquina: P0400-13					Término: 10:50 pm				
Molde saliente: RE-16					Comienzo: 11:39 pm				
Molde entrante: RE-19					Tiempo trans: 49 min				
					Cambiador: Abdel				
					Fecha: 9/10/2020				
					Observado por: J. P. Cortés				
					Revisado por: J. P. Ferreiro				
Descripción del elemento	V.	T.O	T.B	T.T	Descripción del elemento	V.	T.O	T.B	T.T
Desembridar molde parte móvil	100	20	20	22,4	Desplazamiento	100	20	20	22
Retirar u	100	8	8	8,88	Desenganchar mole y retirar canc.	100	30	30	33,3
Desplazamiento	100	35	35	38,5	Polipasto en zona segura	100	10	10	11,1
Desebridar molde lado opuesto	100	65	65	72,8	Conectar molde	100	45	45	50,4
Desplazamiento	110	15	16,5	18,15	Guardar cancelamo	100	7	7	7,7
Abrir máquina	100	60	60	66,6	Abrir máquina	100	30	30	33,3
Tomar herramienta	100	3	3	3,3	Expulsión adelante	100	7	7	7,77
Desmontar barra	100	42	42	46,62	Montar u	100	10	10	11,1
Guardar hta	100	10	10	11	Verificar expulsión	100	20	20	22,4
Tomar hta	100	3	3	3,3	Prender módulo de resistencias	100	5	5	5,55

Nota: V.=Valoración T.O=Tiempo observado T.B=Tiempo básico T.T=Tiempo tipo

Tabla 4. Estudio de tiempos del proceso aplicando el SMED.

Se observa a continuación, la puntuación de tensiones relativas para ciertas operaciones del proceso de cambio de molde, obteniendo el porcentaje de la tabla 5.

	En cyclades seleccionar CM y OT	Desplazamiento	Abrir máquina	Desplazamiento	Cerrar caudalímetros parte móvil	Desplazamiento
A.1	Fuerza ejercida en promedio	0	0	0	0	0
A.2	Postura	4	4	4	4	4
A.3	Vibraciones	0	0	0	0	0
A.4	Ciclo breve (trabajo muy repetitivo)	0	0	0	0	0
A.5	Ropa molesta	0	0	0	0	0
B.1	Concetración/ansiedad	5	0	5	0	5
B.2	Monotonía	5	0	5	0	5
B.3	Tensión visual	0	0	0	0	0
B.4	Ruido	0	0	0	0	0
C.1	Temperatura y humedad	0	0	0	0	0
C.2	Ventilación	0	0	0	0	0
C.3	Emanación de gases	0	0	0	0	0
C.4	Polvo	0	0	0	0	0
C.5	Presencia de agua	0	0	0	0	0
	TOTAL	14	4	14	4	14
	PUNTOS	11%	10%	11%	10%	10%

Tabla 5. Suplementos para cada operación.

Para el cambio de molde del RE-19, se obtuvo como resultado un tiempo tipo de 52,06 min (tabla 6), es decir, este sería el tiempo indicado para realizar la operación en las condiciones ponderadas para este estudio de tiempos.

	Segundos	Minutos
Tiempo básico	2808,7	46,8
Tiempo tipo	3123,4	52,06

Tabla 6. Resultado estudio de tiempos proceso SMED.

Para observar todo el estudio completo del proceso, observar el anexo 3.

Finalmente, para esta tercera etapa se procede a exponer la solución a todas no conformidades registradas en el plan de acciones. En primer lugar, se realiza la adquisición de las herramientas faltantes o en mal estado, de un nuevo carro de herramientas, el cual fue modificado para facilitar el transporte de algunas llaves de gran dimensión, llevar los productos necesarios para el mantenimiento preventivo del molde (figura 15). Esta acción fue necesaria desde el principio, ya que se disponía de un carro en muy malas condiciones de trabajo, se realizaba un sobreesfuerzo para empujarlo, ya que sus ruedas estaban averiadas.

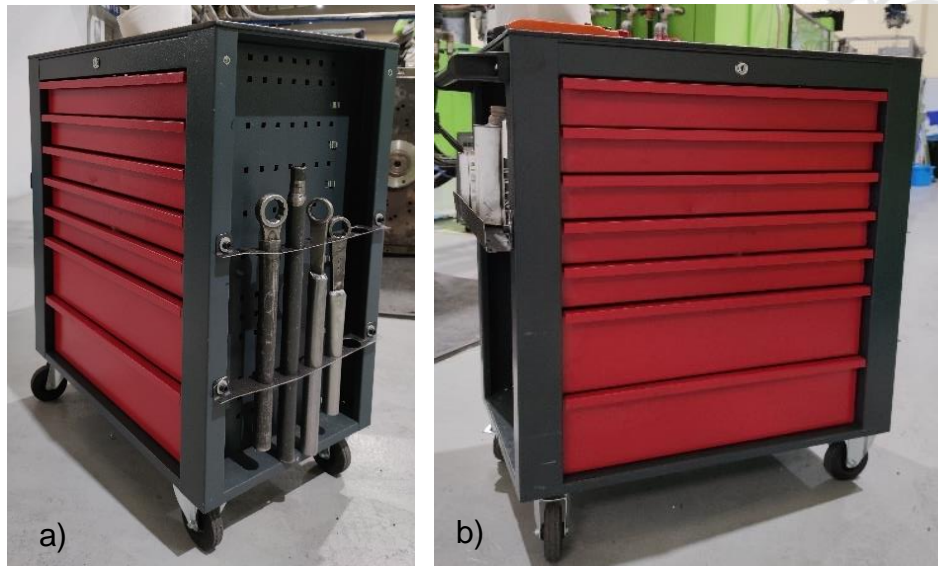


Figura 15. Nuevo carro de herramientas puesto a disposición de los operarios para el cambio de molde.

Se presentó una solución al problema del deterioro de las roscas de las mechas (componente roscado que acopla el sistema de expulsión del molde con el sistema de expulsión de máquina, mediante una barra) a causa de su diseño, el cual no presentaba caras planas para el uso correcto de una llave. Este problema también generaba la fractura de la rosca del sistema de expulsión del molde. Al modificar su diseño, se evitó el riesgo de corte al operario, al intentar desenroscar la mecha de la barra con la mano, se eliminó el deterioro de las roscas, se disminuyó los desplazamientos al taller de moldes o mantenimiento para desmontar la mecha (figura 16).



Figura 16. Modificación diseño de mechas.

Seguidamente, se realizó la marcación de las mechas, con el objetivo de identificar el tamaño de rosca en ambos extremos. Esta acción eliminó la pérdida de tiempo en los desplazamientos por tomar la mecha equivocada y facilitó mantener el orden en el carro de herramientas (figura 17).



Figura 17. Marcación de mechas.

De igual forma, se realizó la marcación de los anillos centradores, acotando las dimensiones del diámetro exterior e interior (figura 18). Paralelamente, se registró la cantidad de las combinaciones más usadas, con la intención de validar su disponibilidad. Como resultado se obtuvo la facilidad de identificar los diferentes tipos de anillos, organizar su almacenaje por dimensiones y separar los obsoletos o menos usados.



Figura 18. Marcación de anillos centradores.

Se modificaron los espárragos de las bridas usados para la sujeción de los moldes, con el fin de dar una solución al deterioro de las roscas en los platos de máquinas. Se tenían espárragos roscados completamente, es decir, sin una sección sin rosca, lo que implicaba que el espárrago hiciera tope axial con la cara plana del agujero roscado de la placa, degradando los filetes de las roscas y agravándose con el uso de la pistola neumática, ya que no se controla el torque. Esta modificación consistió en poner un termoencogible para simular la sección sin rosca del espárrago; además se recortaron entre 30 – 40 mm de longitud, con el objetivo de ampliar la funcionalidad a la pistola neumática en varias máquinas, ya que la copa de la pistola es corta. También se compraron espárragos con las modificaciones antes mencionadas (figura 19).

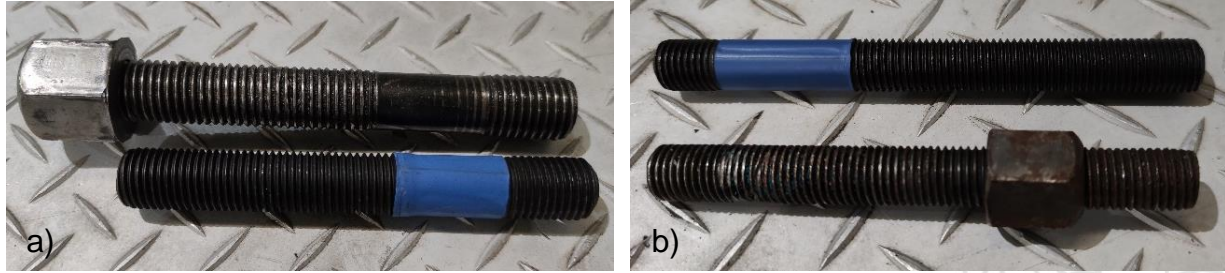


Figura 19. Modificación espárragos.

Para garantizar la disponibilidad de los productos necesarios en el proceso de cambio de molde, se definió el stock mínimo acorde al consumo (tabla 9). Como resultado, se suministra al cambiador de molde con estos productos independientemente de las demás áreas de la empresa, reduciendo el tiempo de búsqueda. Se exceptúa el desengrasante que se pide por bidones a nivel general. También se definió un responsable para validar el stock de estos productos, quien, a su vez, se encarga de realizar la formación de los nuevos cambiadores de molde.

STOCK DE PRODUCTOS MTTO PREVENTIVO MOLDE Y 5s				
	Referencia	Consumo	Pedido mínimo	Stock mínimo
Mtto preventivo molde	Teflex AD (Grasa blanca)	1 un/2 día	48 un	10 un
	Protect G31 (Anticorrosivo)	3 un/día	48 un	12 un
	Castrol paste ht	1 un/3 meses	5 un	1 un
	Castrol paste white	1 un/mes	5 un	1 un
5s	NSR sensitive (Desmoldeante)	1 un/2 días	48 un	10 un
	Desengrasante	1 un/ 2 semanas	-	-
	Limpiacristales	1 un/ 2 semanas	3 un de 5L	1 un
	Papael	1 un/ 2 semanas	24 un	2 un

Tabla 9. Stock mínimo de productos.

Se actualizó el *layout* de los moldes de inyección para la línea uno, línea principal de producción en esta área. Esta se compone de doce máquinas, con diferente capacidad de fuerza de cierre, donde la más pequeña es de 180 toneladas y la más grande es de 1500 toneladas. Se definió la ubicación de los moldes lo más cercana posible a las máquinas donde se montan frecuentemente. La empresa presenta una falta de espacio para la ubicación de todos los moldes, debido a la obsolescencia de algunos que solo se usan para recambios, es decir, solo los pide el cliente para repuestos de proyectos que ya no se fabrican en serie. En base a lo anterior, se dio prioridad de ubicación a los moldes que son de proyectos vigentes, además que continúen en este estado por lo menos un par de años más. Como resultado, se disminuyó el tiempo en la búsqueda y transporte de los moldes, limitado por la velocidad del polipasto y la seguridad (figuras 20 y 21).

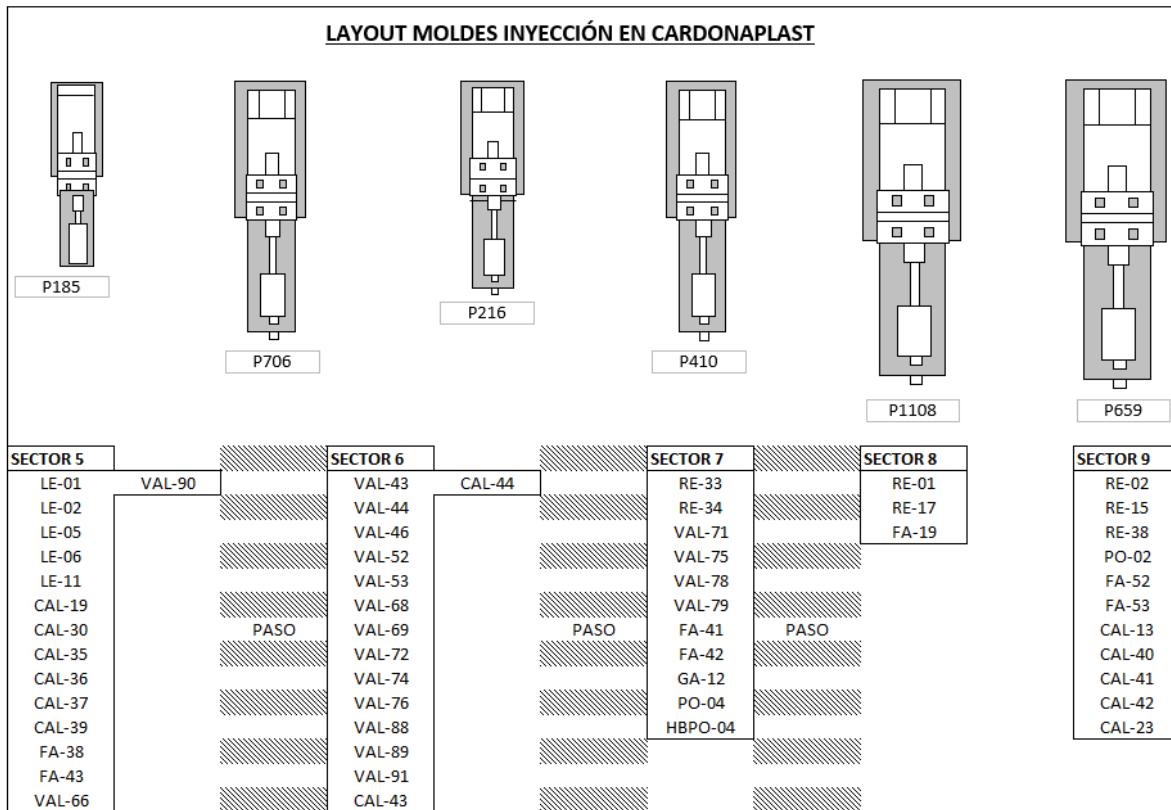


Figura 20. Layout moldes inyección línea 1 parte 1.

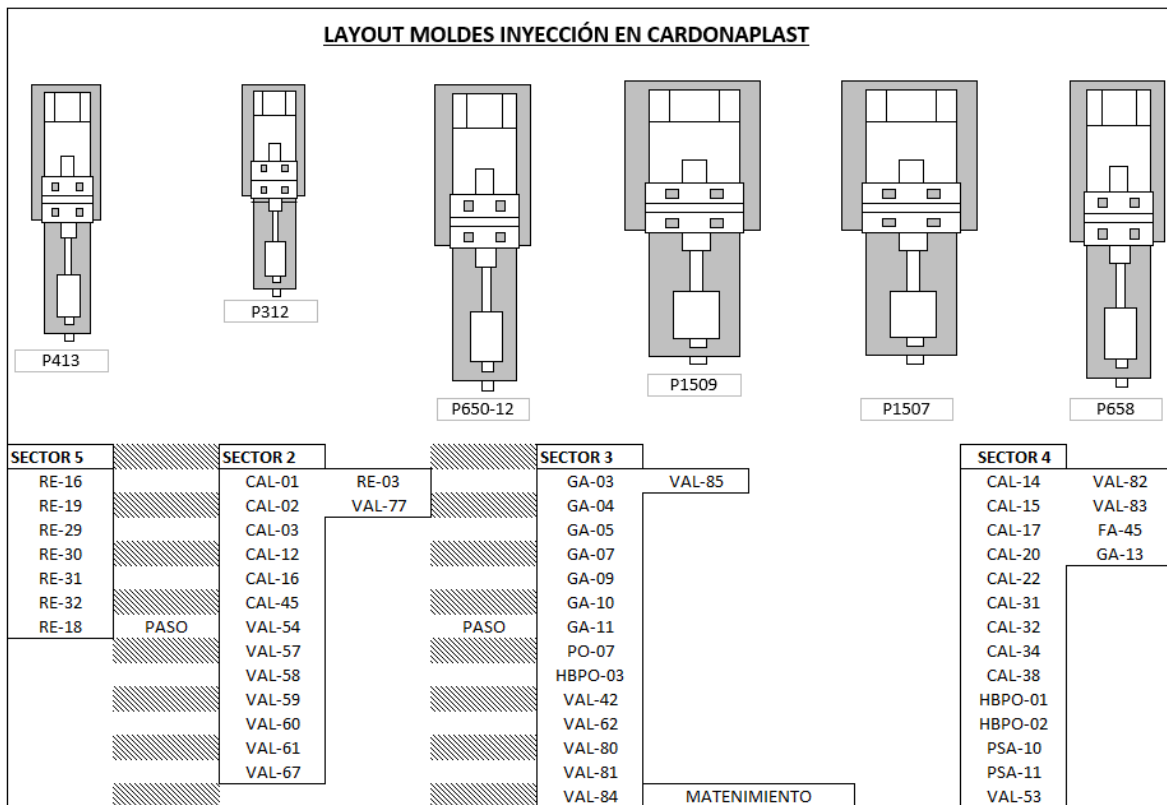


Figura 21. Layout moldes inyección línea 1 parte 2.

Se expone un tema logístico desarrollado paralelamente a este proyecto, ya que este afecta indirectamente los cambios de molde, resaltando la importancia de optimizar el proceso para la empresa. Logísticamente se presentaba un déficit de espacio para almacenar toda la producción, con excesos de fabricación por no controlar el stock, sin zonas definidas para cada referencia, lo que conllevaba a una gran dificultad para realizar un inventario manual y compararlo con el sistema, además la búsqueda de las referencias para realizar las preparaciones de entrega, etc.

Para dar solución a este problema, en primer lugar, se definió un stock máximo para toda referencia de los clientes más relevantes para la empresa (RENAULT, PSA, VALEO, SEAT), con este límite de producción se realizó un estudio de capacidad del almacén (anexo 4), teniendo en cuenta el número de cajas, número de *palets* y su apilabilidad (tabla 10). En consecuencia, se incrementarán los cambios de molde diarios, ya que se harán producciones más cortas para todas las referencias.

Molde	Cliente	Referencia	Stock Max. Almacén	Cantidad de embalaje (Pallet o Jaulas) a almacenar Stock Max.	Nr. Bultos Suelo	Nr. Bultos redondeo
RE-39	Renault	821E03492R	5000	3	1,00	1
RE-39	Renault	821E10125R	5000	3	1,00	1
RE-38	Renault	284B87727R	2500	6	1,20	2
RE36	Renault	687756920R	1875	21	3,50	4
RE36	Renault	687741212R	1875	21	3,50	4
RE35	Renault	687741212R	2430	27	4,50	5
RE35	Renault	687756920R	2430	27	4,50	5
RE-34	Renault	259977846R	2500	3	1,00	1
RE-33	Renault	259974594R	1300	2	0,40	1

Tabla 10. Cálculos capacidad de almacén.

Consecuentemente, con los datos obtenidos en el estudio de capacidad, se procedió a generar una distribución del almacén, de tal manera que se respetara el sistema FIFO (*First in - First out*), el cual es un método de gestión de inventarios. Debido a la gran cantidad de referencias de todos los clientes, al realizar el *layout* (anexo 5) se filtraron por orden de importancia o proyectos que aún están en fabricación en serie. Se encontró que había referencias importantes que solo fabricábamos uno o tres palets como máximo por semana, lo que hacía ineficiente ubicarlos en el suelo, ya que se desperdiciaba su apilabilidad y el carril o zona quedaba inferior al 50% de su capacidad. Por consiguiente, se propuso ubicarlas en estanterías (figura 22), definiendo todos sus requerimientos, en total son dos y puede observarse sus ubicaciones en el *layout* (figura 23).

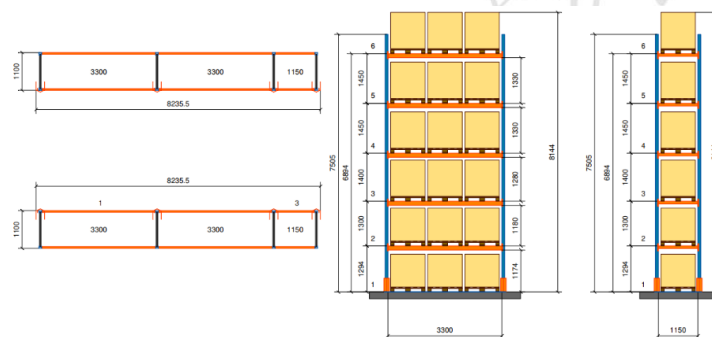


Figura 22. Estanterías almacén.

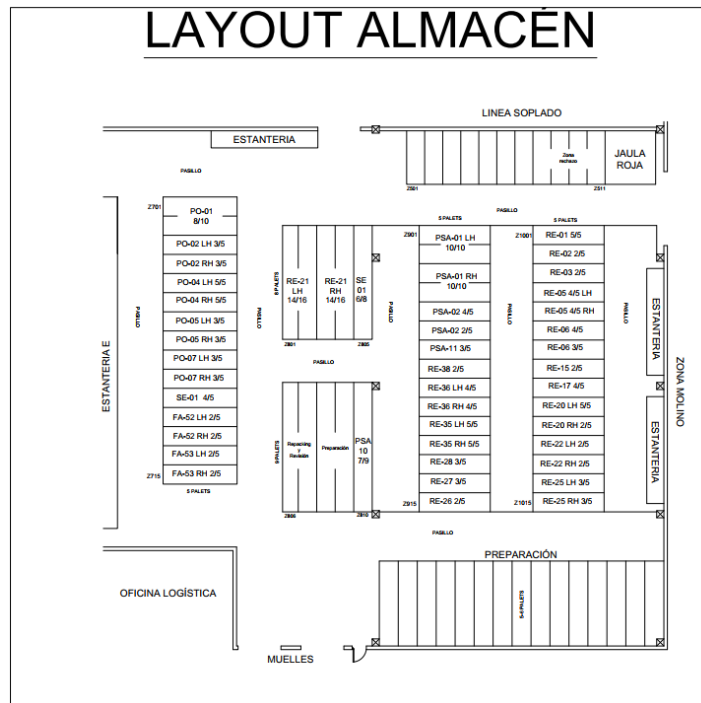


Figura 23. Layout almacén.

En segundo lugar, se modificó el archivo donde los encargados de producción realizan la planificación por semana (anexo 6), acorde a los pedidos. En este, se agregó la cantidad de piezas registradas en el pedido semanal (VCO) y el stock para cada referencia, la necesidad de embalaje, la capacidad teórica del almacén y la cantidad de sobreproducción según lo planificado (tabla 11). El VCO y el stock se actualizan diariamente, ya que día a día se expiden piezas e ingresan pedidos. Con estos datos, se genera una alerta cuando la capacidad de almacenamiento (5 días de stock máximo) se supera, además si se tiene stock se calcula la sobreproducción realizada. Como resultado, se espera mejorar la gestión de los inventarios, disminuir su cantidad, ya que esto es un pasivo de la empresa, que día a día disminuye su rentabilidad, inclusive llegando a ser nula o incuantificable por la fluctuación de los valores del mercado (insumos, mano de obra, transporte, etc.).

MAQUINA	Nr. Molde	Cant. Embalaje Nr.2 disponible	CICLO	Cavidades	Pzs/h	Turnos	Cantidad Redondeada (OF)	Cantidad Pedido	Capacidad real del almacén	Capacidad teórica del almacén	Stock
	VAL-58		31,0	2	205	3,7	5994	6.000	-12.090	2.044	14.134
	VAL-59		31	2	205	0,0	0		0	1.800	1.800
	VAL-61		32,3	2	197	0,0	0		1.600	1.600	0
	RE-03		35,3	2	180	3,1	4458	4.500	581	3.199	2.618
	FA-40		36,0	1	88	0,0	0		-	-	-
	RE-31		61,0	1	52	0,0	0		962	1.200	238
	RE-32		61,0	1	52	1,6	640	650	800	800	0
	RE-18		60,0	1	53	0,0	0		1.152	1.600	448

Tabla 11. Planning de producción modificado.

6 Conclusiones

- Se logra optimizar el tiempo del proceso de cambio de molde en un 54%, pasando de 108,5 a 49 min. Se estandarizan las operaciones del proceso, definiendo una secuencia que permite reducir los desplazamientos e implementar los formatos para su auditoria y seguimiento.
- El desarrollo de este proyecto se enfocó en diversos moldes, con el objetivo de discretizar todas las operaciones del proceso. Los resultados mostrados corresponden al molde RE-19, debido a su alta frecuencia en producción, importancia del cliente, y facilidad para registro de datos.
- Mediante el diagrama de flujo (anexo 1) y la videograbación del proceso, se logró registrar todas las operaciones con sus respectivos tiempos, permitiendo obtener una valoración del proceso. Además, permitió realizar el inventario de herramientas necesarias.
- El plan de acciones permitió el registro, análisis y planificación de todas las no conformidades observadas en el proceso, resolviendo la falta de herramientas, mejorar el carro para el transporte de estas, reubicar moldes cercanos a máquinas, etc.
- Mediante los formatos generados, se logró aplicar la metodología SMED y MTM, discretizando las operaciones internas y externas con su registro de tiempos, permitiendo una reducción y estandarización del tiempo del proceso.
- Los formatos generados en tipo *check-list* y con un orden de operaciones, brindaron la oportunidad de realizar la formación del cambiador de moldes, así como auditarlo rápidamente.
- Se socializó con los cambiadores de moldes, la importancia que tiene el proceso para la empresa y su visión a futuro, haciéndolos parte del proyecto, con el fin de no solo motivarlos a optimizar el proceso, si no, sus condiciones de trabajo.
- El proceso de cambio de molde puede optimizarse aún más, cambiando la tecnología, mediante platos magnéticos, bridas hidráulicas, mesas de transporte del molde, implementación de conexiones rápidas con robot, etc.
- Se recomienda finalizar todas actividades registradas en el plan de acciones, principalmente la reparación de las roscas de los platos y la acometida neumática en ambos lados de las máquinas.
- Es evidente que la mala administración de inventarios para una empresa puede hacerla colapsar, ya que estos no permiten conocer la rentabilidad real debido a las

fluctuaciones del mercado. Idealmente, se debe tener una empresa que vaya sobre pedido, sin embargo, esto demanda una alta capacidad de recursos.

7 Referencias bibliográficas

- [1] Padilla, L. (2010). Lean manufacturing manufactura esbelta/ágil. Revista Electrónica Ingeniería Primero ISSN, 2076(3166), 91-98.
- [2] Socconini, L. (2019). Lean manufacturing. Paso a paso. Marge books.
- [3] Badiola, J. G. (2003). Innovación en los estudios de métodos y tiempos para el análisis de la productividad. Técnica Industrial, 251, 66.
- [4] Shingō, S., (1985). A Revolution in Manufacturing, Cambridge, MA: Productivity Press.
- [5] Vorne Industries Inc. SMED (Single-Minute Exchange of Die). <https://www.leanproduction.com/smed.html>.
- [6] Shingō, S., (1989). A Study of the Toyota Production System, Cambridge, MA: Productivity Press.
- [7] MTM ingenieros. ¿Qué es el MTM? <http://mtmingenieros.com/knowledge/que-es-el-mtm/>.
- [8] L. Denis, M. de Almeida, FERREIRA, Joao Carlos. Analysis of the Methods Time Measurement (MTM) Methodology through its Application in Manufacturing Companies. Universidad general de Santa Catarina, 2009.
- [9] Kanawati, G. (1996). Introducción al estudio del trabajo. Oficina internacional del trabajo. Cuarta edición.

8 Anexos

- 1. Anexo 1: Proceso cambio de molde.
- 2. Anexo 2: Plan de acciones–SMED.
- 3. Anexo 3: Estudio de tiempos.
- 4. Anexo 4: Cálculos layout Almacén.
- 5. Anexo 5: Layout almacén.
- 6. Anexo 6: Planning nou S42.