



Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Autonomo 2021



Eliminación de Desperdicios y Ahorro de Recursos en Áreas de Moldeo por Inyección de Plásticos Basado en la Metodología SMED

José Iván Núñez Adame¹, Dr. Iván Juan Carlos Pérez Olguín²,
Dr. Luis Carlos Méndez González³ y Dr. Luis Alberto Rodríguez Picón⁴

Resumen— En el siguiente artículo, se presenta un análisis de las actividades requeridas para realizar el cambio de herramientas en el área de moldeo por inyección de plásticos, herramientas utilizadas para la conformación de la pieza moldeada; en promedio se generan 2:30 horas de tiempo muerto por evento, lo que mensualmente equivale a 828 horas (considerando 50 moldeadoras en 360 eventos mensuales de cambio de herramientas). Mediante un evento de mejoramiento continuo, se plantea el uso de técnicas de ingeniería industrial enmarcadas dentro del DMAIC (que es utilizado para la resolución de problemas dentro de procesos productivos), técnicas enfocadas a la reducción del tiempo de cambio de herramientas (SMED), la organización y limpieza de áreas de trabajo (5'S), los sistemas de gestión de inventarios (FIFO). Lo anterior permitirá generar métodos de trabajo estructurados que una vez aplicados impactarán en la disminución del tiempo promedio invertido en el cambio de herramientas en un 20 por ciento, lo que mensualmente permitirá disponer de 180 horas adicionales para dedicarlas a actividades de producción, lo que se reflejará positivamente en los métricos de calidad, volumen y costo utilizados por la organización. Así como en los registros de consumo eléctrico del área analizada.

Palabras clave— DMAIC, SMED, 5'S, FIFO, Manufactura Esbelta.

Introducción

Dentro de los beneficios inherentes al entorno competitivo motivado por la globalización industrial, las empresas de manufactura se han visto en la necesidad de realizar implementaciones en sus procesos que aseguren la entrega de productos de calidad, en la fecha pactada y al menor costo posible. Por ello, es imperativo incrementar los índices de calidad y productividad, con la finalidad de aumentar los márgenes de operación, lo cual es mencionado por García (2004), específicamente en empresas con procesos de inyección de plásticos dentro de sus operaciones; una filosofía que ha demostrado alta efectividad es la manufactura esbelta y sus herramientas, entre las que se incluye el SMED, que como lo señala Gutiérrez (2020), se acoplan de manera perfecta a estos objetivos, reduciendo los costos y aumentando los beneficios proyectados, al disminuir la generación de desperdicios y generar mayor margen de maniobra en la planeación de las actividades. En este sentido, dentro de una empresa del ramo automotriz, se ha detectado una problemática en las áreas de moldeo por inyección de plástico, que se ve representada en el consumo de tiempo en los cambios de herramienta requeridos para producir la variedad de números de parte que son requeridos, dicha variedad supera con creces la cantidad de moldeadoras que la empresa posee, lo que hace necesario cambios constantes de las herramientas, la Figura 1 muestra un ejemplo del equipo de moldeo por inyección de plástico utilizado, la Figura 2 despliega el tiempo promedio mensual consumido por esta actividad, mismo que se busca reducir a través de un evento de mejoramiento continuo.



Figura 1. Máquina moldeadora por inyección de plástico.

El análisis hace énfasis en la mejora continua, concretamente en el desarrollo de nuevos proyectos ya que se

¹ José Iván Nuñez Adame es estudiante de Ingeniería Industrial y de Sistemas en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, al159618@alumnos.uacj.mx

² El Dr. Iván Juan Carlos Pérez Olguín Profesor Investigador de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, ivan.perez@uacj.mx (autor correspondiente)

³ El Dr. Luis Alberto Rodríguez Picón Profesor Investigador de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, luis.picon@uacj.mx

⁴ El Dr. Luis Carlos Méndez González Profesor Investigador de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, luis.mendez@uacj.mx

busca, a mediano plazo, disminuir los indicadores de desperdicios en general, y aumentar los métricos de eficiencia organizacionales, por ello se establece como prioridad desarrollar un método de cambio de herramientas que considere el proceso de cambio, la herramienta, la materia prima y los equipos periféricos o por lo menos el ajuste de estos, método que permita a la organización reducir el tiempo de 150 minutos a 120 minutos en el presente estudio y posteriormente a 60 minutos en otros eventos de mejoramiento continuo. Como indicativo de la relevancia de esta problemática la organización ha identificado mediante datos histórico un total de 828 horas de tiempo utilizado en 360 eventos de cambio de herramientas, en 50 máquinas moldeadoras mensualmente.

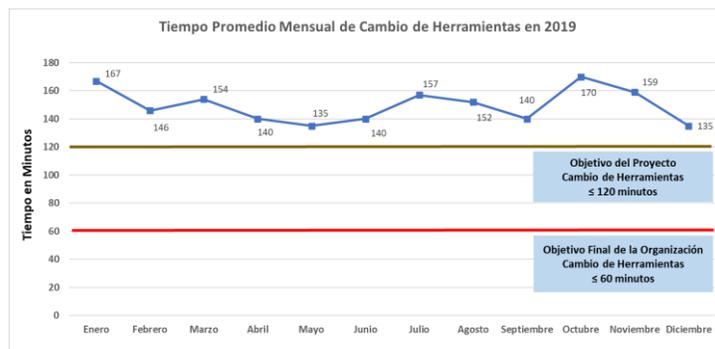


Figura 2. Tiempo promedio mensual de cambio de herramientas en 2019.

Marco teórico

A continuación se presenta una breve explicación de las técnicas y herramientas utilizadas en el evento de mejoramiento continuo, entre las que destacan la manufactura esbelta, 5'S, SMED, FIFO, Seis Sigma y en específico el DMAIC, herramienta de análisis por excelencia para los procesos orientados a la mejora continua.

Seis Sigma

Para comprender el concepto de Seis Sigma, primero, se debe comprender el concepto de calidad propuesto por Juran, Gryna y Bingham (1983), esta definición es corta pero adaptable a cualquier procedimiento con un resultado, se dice que si un producto funciona de acuerdo a las especificaciones con las cuales fue propuesto y cumple con todas las características que presuntamente debería cumplir, es ahí entonces cuando es un producto de calidad. Conociendo el enfoque que dicta la definición de calidad, es posible entender que como herramienta de calidad, Seis Sigma se puede definir como una metodología enfocada a conseguir metas que deben ser establecidas con criterio para poder ser alcanzadas a corto plazo, además de tener la característica de ser medibles, ya que al alcanzar las metas establecidas en una organización a corto plazo, también se logran alcanzar los objetivos a mediano y largo plazo. Metodologías como los Círculos de calidad, la gestión total de calidad y la reingeniería fracasan ya que las metas suelen ser no alcanzables y tampoco medibles, sin embargo, Seis sigma es una filosofía con objetivo establecido al inicio de un evento de mejoramiento, medible y alcanzable, por lo cual se vuelve parte estructural de las empresas, donde los directivos tienen certeza y confianza en su funcionamiento. La empresa Motorola enlista diez puntos que dictan el camino de una empresa de éxito:

1. Dar prioridad a todas aquellas oportunidades de mejora.
2. Seleccionar cuidadosamente el equipo con el que se construya el camino de la organización.
3. Describir totalmente el proceso.
4. Realizar un análisis del sistema de medición.
5. Identificar y describir los productos/procesos críticos potenciales.
6. Verificación y tratamiento con mayor cuidado de los procesos críticos.
7. Ejecutar estudios de capacidad de procesos y realizar las mejoras si fueran necesarias.
8. Implantar las condiciones óptimas de operación y la metodología de control.
9. Establecer un proceso continuo de mejora.
10. Reducir las variaciones por causas comunes hasta alcanzar Seis sigma.

DMAIC

DMAIC es la herramienta principal del Seis Sigma cuando se enfoca en los procesos productivos, su nombre es el acrónimo que hace referencia a cada una de las etapas de un proyecto, dichas etapas son (en su traducción al español): Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, estas etapas tienen la intención de ser utilizadas como un

ciclo, para cumplir con la premisa principal de Seis Sigma, la mejora continua. Para entender de mejor manera como contribuye la herramienta DMAIC en el resultado final del proceso de mejora, primero es necesario entender los fundamentales, que son el Sistema de Gestión de Calidad y los requerimientos de clientes. Para comprender el Sistema de Gestión de Calidad, se debe comprender primero la definición de sistema, que es una serie de procesos conectados entre si y con funciones específicas que se conjuntan para alcanzar el objetivo común, que es transformar la Voz del Cliente en la entrega de un producto o servicio, a su vez un proceso se define como el conjunto de actividades interrelacionadas que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados, los recursos son mano de obra, maquinaria, método, medición, material y medio ambiente (6M's), conociendo estos conceptos, entonces es posible definir el Sistema de Gestión de Calidad como el manejo de los procedimientos y sus conexiones a cada secuencia para asegurar de que en cada procedimiento las salidas cumplan con lo que se requiere por el cliente (Martínez, 2015). Existen dos tipos de clientes, los internos y los externos, los internos son quienes conforman la cadena dentro de la organización, participando del sistema y transformando las entradas que se convertirán en salidas para el procedimiento siguiente, en dicha secuencia la estación anterior actúa como el proveedor interno. Los clientes y proveedores externos son quienes participan como receptores del producto o servicio completado en su totalidad por el sistema interno de la organización y quienes se encargan de entregar su producto o servicio terminado dentro de su propio sistema a una entidad ajena a su organización. En Rojas Salazar y Pérez Olguín (2019), es posible encontrar ejemplos de aplicación del ciclo DMAIC en la industria de manufactura en países de latinoamérica así como su correlación con el Producto Interno Bruto de cada país.

Filosofía de las 5'S

Filosofía de alta aceptación, utilizada para la organización y mejora de las áreas de trabajo de manera cíclica y con intenciones de disminuir los desperdicios dentro de la industria, consiste en un programa estructurado por cinco etapas (Rincón Mora, Pérez Olguín, Pérez Limón y Fernández Gaxiola, 2014):

- Seiri (clasificación); se refiere a la práctica de la clasificación a través de todas las herramientas, materiales,..., en el área de trabajo y mantener sólo los elementos esenciales.
- Seiton (orden); se centra en la necesidad de un espacio de trabajo ordenado. Herramientas, equipos y materiales deben estar en una disposición sistemática, para el acceso más fácil y eficiente con todas las herramientas y partes claramente identificadas para facilitar su uso.
- Seiso (limpieza); son los medios para mantener un lugar de trabajo limpio. Indica la necesidad de mantener limpio el lugar de trabajo, así como ordenado.
- Seiketsu (estandarizar); las normas, los medios para llevar a cabo Seiri, Seiton, Seiso, con una frecuencia de intervalos bien definidos para mantener un lugar de trabajo en perfectas condiciones.
- Shitsuke (mantenimiento); son los medios para formar el hábito de seguir siempre las primeras 4'S. Se refiere al mantenimiento de las normas.

Estudio de tiempos y movimientos

Meyers (2000) define al estudio de tiempos y movimientos como en el análisis de la situación actual de la organización en comparación con los factores que inciden en el proceso de producción, como la distribución de planta, los equipos utilizados, el manejo de materiales, el personal, la duración de las jornadas de trabajo y las condiciones ambientales, que en conjunto contribuyen a lograr una producción eficiente. De la Riva, Gonzales, Esquivel y Aldape (2011) señalan que para obtener como resultado un tiempo estandar, es necesario tener condiciones normales, es decir, contar con un trabajador normal, la adecuación para que realice una actividad requerida, existan instrucciones estandarizadas para la operación y que se realice con la calidad requerida, es de gran importancia contar con un trabajador debidamente capacitado y con la experiencia necesaria en la operación, ya que esto eliminará las posibles variaciones por mala realización de la operación. El cronometraje es una técnica empleada para la medición del trabajo, consiste en medir con un cronómetro el tiempo empleado por un operario para ejecutar una operación determinada. La lógica y la estadística muestran que para tener una buena medición es necesario tomar varias lecturas de una actividad, el error será menor al realizarse muchas tomas y obtener un valor promedio, que realizando una sola toma (Arciniega Moreno, Pérez Olguín, Torres Cantero y Pérez Limón, 2014). También se añade que un trabajador calificado es aquel que tiene la experiencia, los conocimientos y otras cualidades necesarias para efectuar el trabajo en curso según normas satisfactorias de seguridad, cantidad y calidad (Oficina Internacional del Trabajo, 1995).

SMED

Shingo (1989) establece que los gerentes deben ser los responsables de reconocer que la estrategia mas apropiada es construir lo que puede ser vendido y que SMED permite responder de manera mas rápida a las

fluctuaciones de la demanda. Hace referencia a la generación de desperdicios y a lo mucho que se ahorra y se pueden reducir los precios finales si se disminuyen todos aquellos tiempos no productivos.

SMED, por sus siglas en inglés, Single Minute Exchange of Die, es una herramienta utilizada para los cambios de modelo frecuentes, y puede ser adaptada a diversos procedimientos que requieren algún tipo de cambio de herramientas para equipos varios, esta herramienta fue desarrollada a mediados del siglo XX, debido a los increíblemente tardados cuellos de botella que presentaban las líneas de producción en Toyota cuando era requerido algún cambio de modelo de los troqueles, el funcionamiento de la herramienta SMED es simple, hace referencia a que cualquier cambio de modelo debe tener como objetivo completarse de manera correcta en un tiempo por debajo de los 10 minutos, es decir en un solo dígito de tiempo, para lograr este objetivo se debe seguir una secuencia de pasos que de completarse de manera correcta resultaran en una disminución significativa del tiempo, recordando que un cambio de modelo genera tiempo desperdiciado o tiempo muerto cuando se ha producido la última pieza buena y antes de producir la primera pieza buena del siguiente modelo, las secuencias se resumen de la siguiente manera (Shingo, 1989):

- Observar el proceso, aquí se debe realizar un listado de actividades detalladas al mínimo.
- Organizar las tareas y clasificarlas, aquí se le da la clasificación de acuerdo a si aporta o no valor al proceso.
- Clasificar como internas o externas, las actividades internas se realizan cuando se ha completado la última pieza buena y antes de que se produzca la primera pieza buena, las externas son todas las actividades restantes.
- Eliminar todas aquellas actividades que no agreguen valor al proceso, es decir, que no producen ningún cambio en el procedimiento.
- Convertir las actividades internas en externas, tratar de realizar actividades antes de detener el proceso y generar el cambio.
- Reducir el tiempo de las actividades internas mediante mejoras e innovaciones en el sistema.
- Reducir el tiempo de las actividades en general.
- Mantener el cambio, estandarizar el procedimiento y probar que sea aplicable a todos los cambios de modelo de su tipo.

FIFO

La política de inventario FIFO (First In First Out, Primeras Entradas Primeras Salidas), hace referencia a que los productos que lleguen primero se consuman primero siguiendo una secuencia con los siguientes en llegar, es decir que los productos que sean completados primero salgan del almacén de manera prioritaria, esto promueve la rotación del inventario, lo que a su vez promueve el movimiento de los activos de manera continua, lo cual a su vez genera sanidad en las cuentas de la empresa, como menciona Alvarez (2015) el inadecuado control interno a la rotación de inventarios no permite generar información oportuna, por el contrario crea acumulación excesiva de cierta mercadería y amortización innecesaria de recursos financieros, factores que afectan directamente a la rentabilidad de la empresa; para generar un FIFO, es necesario conocer a detalle la demanda, las entradas y las salidas del producto o suministro a controlar, después de obtener y clasificar a la variedad de existencias de un mismo producto se deben clasificar de acuerdo a su consumo, después de ello se asigna un Kanban coherente que satisfaga la demanda sin caer en insuficiencias.

Desarrollo

Definición de la problemática

Se trabaja con la idea de mejorar los tiempos invertidos en el área de moldeo por inyección de plásticos dentro de una organización de la rama automotriz, a grandes rasgos, se trata de plantear la totalidad del proceso separándolo en etapas de la transformación del producto, sin incluir el área subsecuente de la organización, con procesos de ensamble, se decide organizar el flujo del proceso como se muestra en la Figura 3.

De acuerdo al análisis del flujo de las actividades del proceso completo de moldeo, se decide implementar un plan de acción para mejorar la inversión del tiempo empleado dentro de la organización, iniciando con el cambio de herramientas dentro del proceso de transformación de la materia prima (compuesto). El plan de acción se define de acuerdo con la Tabla 1, que presenta un análisis de 5W+2H, teniendo como objetivo del presente estudio la reducción del tiempo de cambio de herramientas de 150 minutos a 120 minutos.

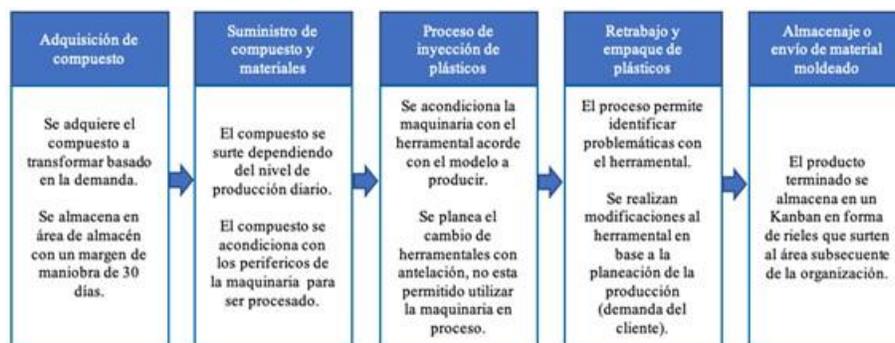


Figura 3. Proceso de moldeo por inyección de plásticos por etapas.

5W+2H	
Proyecto: SMED QCO en moldeo.	
What: ¿Qué se hará?	Reducción del tiempo muerto para cada cambio de molde y arranque en molde mediante la transformación de actividades internas a externas y la mejora de los procesos.
Why: ¿Por qué se hará?	El tiempo muerto para cada cambio de molde es muy alto además de la variación existente en el proceso y el bajo registro del mismo.
Who: ¿Por quién se hará?	Mantenimiento Procesos, Resinas, Calidad, Producción Lean.
When: ¿Cuándo se hará?	20 Febrero 2020
Where: ¿Dónde se hará?	En las máquinas Moldeadoras del área de Moldeo.
How: ¿Cómo se hará?	1- Se creará un listado de las actividades que se llevan a cabo en el proceso de cambio de molde. 2- Se clasificarán de acuerdo al tiempo muerto que generen en producción como internas y externas. 3- Se clasificarán de acuerdo a su aporte al proceso como VA, NVA y NVAN. 4- Se eliminarán todas aquellas cuya clasificación sea NVA. 5- Se transformarán las actividades internas a externas de ser posible. 6- Se trabajará en la reducción del tiempo de las actividades internas y externas restantes. 7- Verificación del suministro de materia prima (Resina y material de empaque). 8- Organización del área de signada para las labores del procedimiento.
How much: ¿Cuánto costará?	\$ 15,000.00

Tabla 1. Definición del proyecto con 5W+2H.

Medición de la problemática

Una de las situaciones que suponían una problemática para la organización fue la falta de un sistema de recolección de datos precisos que permitieran reconocer en forma numérica la situación actual de cualquier etapa de la organización, por ello, se creó un sistema de monitoreo de cada una de las etapas de cambio de herramientas, para en base a ello monitorear todos y cada uno de los eventos en cualquier momento de la producción, este sistema estaba basado en el registro de los tiempos en un formato del proceso basado en las actividades realizadas dentro de un cambio, la Tabla 2 presenta los datos del cambio de mayor complejidad y de mayor consumo de tiempo, antes de esto fue necesario determinar y discriminar por su naturaleza, los tipos de cambio de herramientas que se realizan dentro de la organización, presentado en la Figura 4, para efectos prácticos del proyecto se decidió tomar como base del proyecto el cambio de herramientas tipo C y sus dos variaciones C1 y C2.

Actividades	
Cantidad	315
Tiempo (seg)	11988
Tiempo (min)	199.8
Tiempo (hrs)	3.33

Tabla 2. Resultados de la medición del cambio de herramientas tipo C y sus variaciones.

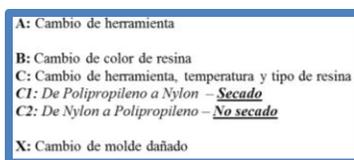


Figura 4. Tipos de cambios de herramientas en la organización.

Separando los resultados de la medición del cambio de herramientas por las etapas del proceso, las cuales se pueden identificar en la Figura 5, se pudieron identificar las partes del proceso con el mayor tiempo consumido y en base a ello enfocar el análisis a ese sector (Figura 6).



Figura 5. Flujo de las etapas del procedimiento de cambio de molde.

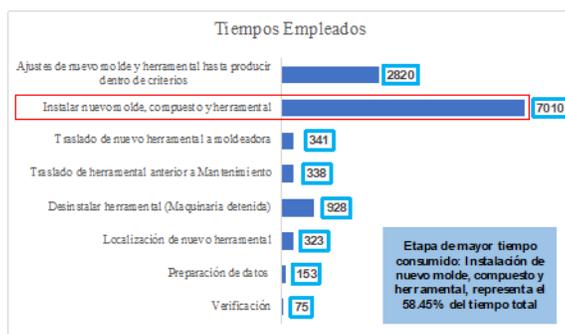


Figura 6. Tiempos en segundos empleados por etapas del proceso de cambio de molde.

Analisis de las actividades

Después de enlistar las actividades y asignarles una etapa en la cual afectan al proceso se clasificaron de acuerdo al valor agregado en el proceso, existen tres tipos de actividades: VA, NVA, NVAN, las actividades que generan un cambio en el proceso se clasifican dentro de las VA (Value added), las que no generan ningún cambio en el proceso y pueden ser evitadas se clasifican como NVA (No value added), y las actividades que no aportan ningún cambio en el proceso pero es completamente necesario realizarlas se clasifican como (NVAN), a parte de esta clasificación se agrega una segunda, en la cual se clasifican de acuerdo al momento en el que se producen, esta es la clasificación de Internas y Externas. Las actividades internas, son todas aquellas actividades que se realizan con el equipo producido sin estar funcionando con normalidad, es decir, aquellas actividades que ocurren cuando se ha producido la última pieza en condiciones conformantes, Las actividades externas son todas aquellas que se suscitan cuando el equipo está produciendo con normalidad, es decir, antes de que se produzca la ultima pieza buena del modelo anterior, y después de que se produzca la primera pieza buena del modelo siguiente. De acuerdo a esta clasificación, se tomaron las actividades enlistadas en el tipo de cambio de herramienta C y se registraron de la manera mostrada en la Tabla 3.

Actividades	Cantidad	Tiempo	Actividades	Cantidad	Tiempo	Actividades	Cantidad	Tiempo
VA	137	5975	NVA	35	3863	NVAN	143	2150
EXT	10	210	EXT	2	97	EXT	11	430
INT	127	5765	INT	33	3766	INT	132	1720

Tabla 3. Clasificación de las actividades, cambio de molde tipo C inicial.

Implementación de la mejora

La secuencia siguiente es la eliminación de las actividades que no agregan valor al proceso, el enfoque ha tomado en cuenta las 33 actividades identificadas en la Tabla 3, que se han clasificado como internas de manera

prioritaria, el resultado indica la eliminación prioritaria de la actividad de espera por la recepción del nuevo compuesto a introducir, esta actividad consume 2,743 segundos, que equivalen al 85% del tiempo consumido por las actividades que no agregan valor al proceso, el cambio de molde tipo C requiere, como se había explicado anteriormente, el cambio también de la materia prima a transformar en producto terminado, cada cambio de molde tipo C está expuesto a retrasos en este material debido a la poca organización de la materia prima en área designada para almacén. Por tanto, se decide la creación de un sistema FIFO exclusivo para compuestos utilizados en moldeo, dicho FIFO será diseñado en base a la relación del consumo y la demanda de cada tipo de compuesto, sustentando el análisis en datos históricos de la organización. Para el cálculo de la demanda en contenedores (en los cuales se almacena el compuesto), por Mspec (definición de cada tipo de compuesto), se tienen los siguientes datos:

- Cada Mspec tiene un peso de 1,400 libras.
- La demanda se recibe en piezas.
- Las piezas son equivalentes en peso al compuesto.
- La demanda es semanal, el espacio de adquisición de la planta es de un mes.

Basado en los datos anteriores se generó la siguiente ecuación:

$$M_{spec} = P \frac{4d}{1400}$$

Donde Mspec es la cantidad de contenedores, P el peso de las piezas unitarias en libras y d es la cantidad de piezas en demanda. Con esta ecuación se obtuvieron los siguientes datos (Tabla 4):

- Se requieren alrededor de 472 contenedores de compuesto al mes para satisfacer la demanda.
- Se clasificaron los Mspec de acuerdo a su porcentaje de contenedores respecto al total:

Mspec	Contenedores a consumir	Porcentaje	Mspec	Contenedores a consumir	Porcentaje
M2097004	0.476484395	0.116%	M4695002	11.29794053	2.751%
M2279001	83.9909709	20.454%	M4695003	0.542865629	0.132%
M2279007	2.848239282	0.694%	M4695039	0.011610159	0.003%
M2286001	3.496842266	0.852%	M4698002	38.53864224	9.385%
M2956049	1.540764826	0.375%	M4698003	1.123214837	0.274%
M2956052	82.43311391	20.075%	M4698006	0.046931951	0.011%
M2956054	14.22747738	3.465%	M4698030	12.96611349	3.158%
M3571002	60.25210524	14.673%	M5443002	64.76382416	15.772%
M4616002	1.057083795	0.257%	M5443003	0.029982832	0.007%
M4692002	25.99508322	6.331%	M6436002	4.986711864	1.214%

Tabla 4. Clasificación de los Mspec de acuerdo a su consumo mensual.

Basado en esto, se rediseño el Layout del almacén para cubrir la demanda diaria con producto a la mano de producción (Figura 7):

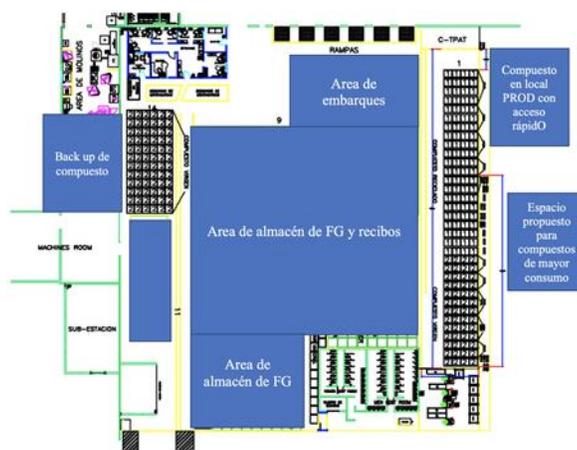


Figura 7. Layout propuesto de almacén con espacio para 314 contenedores en acceso rápido a producción y Backup de 160.

El siguiente paso es la eliminación de las actividades que no agregan valor pero por alguna razón son inevitables (NVAN), dentro de este punto, se encuentra una etapa del proceso dividida en varias secciones que en conjunto consiguen consumir 440 segundos del tiempo y que representan el 20.46% del tiempo consumido total por las NVAN, esta etapa es el drenado del molde. La secuencia anterior incluía colocar de manera individual, cada una de las conexiones con acceso a agua del molde, y drenarlos individualmente con la utilización de bolsas de plástico

- Los siguientes pasos se ven resumidos en la misma acción, se introdujeron Check List con la intención de generar métricos del comportamiento de las áreas en base en los niveles de limpieza de estas, de esta manera se generó sentido de pertenencia por parte de personal además de esto se programaron de manera habitual juntas para tratar puntos de conflicto y revisar todas las áreas de mejora con personal de todos los niveles.

Control de lo que se ha obtenido

Se introdujeron planes de validación de manera periódica en el comportamiento del proceso de cambio de herramientas, con esto se pretendía encontrar nuevas oportunidades de mejora a la vez que validar el procedimiento con ejecuciones reales y mediciones periódicas sin previo aviso. El equipo multidisciplinario encargado de la gestión del proyecto programó juntas de información acerca de las condiciones del procedimiento, se trataban de corregir todas aquellas fallas que se presentaban durante el transcurso del periodo establecido, en este caso, 15 días.

Resultados

Al aplicar las mejoras teóricas, se plantea la reducción del tiempo de manera teórica, antes de la validación del procedimiento, siendo esta del 61.50%, dicha mejora se basa en la utilización del tiempo del procedimiento en las actividades internas (Tabla 5).

Actividades	NVAN	NVA	EXT	INT	Total
Cantidad	143	35	23	292	315
Tiempo (segundos)	2,150	3,863	737	11,251	11,988
Tiempo (minutos)	35.83	64.38	12.28	187.52	199.80
Tiempo (horas)	0.60	1.07	0.20	3.13	3.33

Actividades	NVAN	NVA	EXT	INT	Total
Cantidad	111	2	70	186	256
Tiempo (segundos)	2,022	626	1,969	5,331	6,300
Tiempo (minutos)	33.70	10.43	32.82	72.18	105.00
Tiempo (horas)	0.56	0.17	0.55	1.20	1.75

Tabla 5. Reducción teórica de las actividades y los tiempos.

Es importante comentar que los resultados reales de disminución de tiempos, que fueron expresados a final del proyecto no mostraron una disminución tan marcada del tiempo en el promedio de todos los tipos de cambios de molde, sin embargo, al concluir el año se observó una disminución en los tiempos promedios de cambio de herramientas de 150 minutos en 2019 a 120 minutos en 2020, por lo que se considera alcanzada la disminución del tiempo en un 20%.

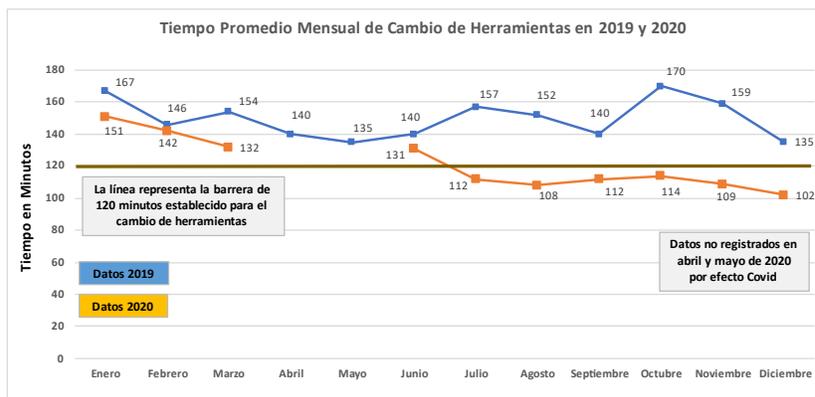


Figura 12. Comparativa de tiempos de cambio de herramientas 2019-2020.

Considerando 360 eventos mensuales de cambio de herramientas se realiza la siguiente comparativa:

Antes del evento de mejoramiento continuo:

- Cantidad de máquinas: 53
- Tiempo muerto promedio por cambio de herramientas: 2:30 horas
- Cambios de molde al año: 360 x 12 = 4,320 eventos
- Costo de electricidad: \$0.109 USD/KWH
- Consumo promedio de energía eléctrica por evento: 24.246 KWH
- Costo de cambio de herramientas anualizado: \$28,542.39 USD

Después del evento de mejoramiento continuo:

- Cantidad de máquinas: 53
- Tiempo muerto promedio por cambio de herramientas: 2:00 horas
- Cambios de molde al año: $360 \times 12 = 4,320$ eventos
- Costo de electricidad: \$0.109 USD/KWH
- Consumo promedio de energía eléctrica por evento: 24.246 KWH
- Costo de cambio de herramientas anualizado: \$22,833.91 USD

Lo que producen un ahorro total de 5,708 USD al año.

Conclusiones

Mediante la utilización de las herramientas de Seis Sigma tales como DMAIC, SMED, FIFO y 5'S, se logró reducir el tiempo muerto en cada cambio de modelo dentro de un proceso moldeo por inyección de plásticos, logrando específicamente:

- Demostrar que la clasificación en el análisis de las actividades promueve la eliminación de las actividades de mayor consumo y esto facilita la reducción en general de los tiempos totales.
- Reducir en un 20% el tiempo muerto real en promedio de todos los tipos de cambio de modelo enfocando el análisis en el cambio de modelo de mayor impacto para la organización,
- Reducir el gasto basado en el consumo energético de la organización cuando los cambios de molde están siendo efectuados, con la misma cantidad de 360 eventos mensuales, 4,320 eventos anuales y con un consumo promedio por máquina de 24.246 KWH, considerando el mismo costo para los dos años de 0.109 USD/KWH, se reduce de \$28,542 USD a 22,833 USD al año.

Referencias

- García, E. A. V. (2004). Metodología para la Implementación de Manufactura Esbelta en una Empresa de la Industria Automotriz. Edición Única. Ed. ITESM.
- Gutiérrez, J. N. M. (2020). Importancia del uso de las herramientas Lean Manufacturing en las operaciones de la industria del plástico en Lima. *Llankasun*, 1(2), 77-89.
- Fraile, F. G., Barrio, J. F. V., & Monzón, M. T. (2002). Seis sigma. Fc Editorial.
- Juran, J. M., Gryna, F.M., & Bingham R.S. (1983). Manual de control de calidad. Vol. 1. Editorial Reverté.
- Van Patten, J. (2006). A second look at 5S. *Quality progress*, 39(10), 55.
- Shankar, R. (2009). Process improvement using six sigma: a DMAIC guide. Quality Press.
- Martínez, J. A. G. (2015). Guía para la aplicación de UNE-EN ISO 9001: 2015. AENOR.
- Alvarez Pullupaxi, M. A. (2015). El Control Interno a la rotación de inventarios y su impacto en la rentabilidad de la empresa Comercial Romero Medina del Cantón Pillaro (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Contabilidad y Auditoría. Carrera de Contabilidad y Auditoría).
- Rincón-Mora, B., Pérez-Olguín I. J. C., Pérez-Limón, J. A., & Fernández-Gaxiola, C. C. (2014). Aplicación de técnicas de ingeniería industrial en el mejoramiento de un proceso de manufactura. *Ingeniería de Procesos, Casos Prácticos*, Edición 1, Capítulo 1, Ed. UTCJ, pp. 6-18.
- Meyers, F. E. (2000). Estudios de Tiempos y Movimientos para la Manufactura Ágil. Segunda Edición. Editorial Pearson.
- Arciniega-Moreno, R. A., Pérez-Olguín, I. J. C., Torres-Cantero, J., & Pérez-Limón, J. A. (2014). Estudio de tiempos y análisis de 8-disciplinas aplicados en la reducción de tiempos de proceso. *Ingeniería de Procesos, Casos Prácticos*, Edición 1, Capítulo 2, Ed. UTCJ, pp. 19-27.
- Rojas-Salazar, M. L., Pérez-Olguín, I. J. C. (2019). Ciclo DMAIC en Latinoamérica: Análisis de aplicación y relación con el Producto Interno Bruto. *Camino hacia la internacionalización: Logística internacional*, Edición 1, Capítulo 3, Ed. UTCJ, pp. 23-31.
- Shingo, S. (1989). A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint". Editorial Productivity Press Inc.