

# Optimización del proceso de estampado en la empresa Rivian: aplicación del método SMED

Diego Rodríguez Arroyo<sup>1</sup>, Luis Alberto Cáceres Díaz<sup>1</sup>, Isabel Pereyra Laguna<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Posgrado CIATEQ A.C. A Tabasco, México<sup>1</sup>, CONAHCYT-Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ), Zona Industrial del Potosí, San Luis Potosí, S.L.P. CP 78395, México.  
dierod.21@gmail.com

## Resumen

En la era actual, la industria automotriz se encuentra en un estado de transformación constante, impulsado principalmente por la rápida integración de tecnologías emergentes. Aquellas empresas que logran destacar son las que no sólo innovan en diseño y funcionalidad, sino también en la eficiencia productiva. Rivian, una prominente empresa estadounidense especializada en vehículos eléctricos destaca por sus audaces diseños y su compromiso con la sostenibilidad. No obstante, al adentrarse en el funcionamiento interno de sus plantas de producción, surgen ciertos desafíos. En particular, en las instalaciones de la planta de Rivian, se ha detectado que el proceso de estampado, esencial para modelar las piezas de acero de sus vehículos, representa un cuello de botella con gran área de oportunidad que requiere una pronta intervención debido al tiempo muerto que impacta a la producción, entre éstas, la alimentación del material a la prensa de estampado, donde actualmente existen muchas actividades manuales que ocasionan tiempo extra de operación, el cual se puede reducir mediante la automatización de algunas operaciones. En este artículo, se presenta un desarrollo detallado sobre la implementación y optimización del proceso en una prensa de estampado, utilizando la metodología intercambio de troqueles en un solo minuto (SMED por sus siglas en inglés) para maximizar y mejorar la eficiencia de los recursos y satisfacer la demanda de producción. A través de esta herramienta de Manufactura Esbelta, se aplican sistemáticamente las etapas y ciclos del SMED con el objetivo de realizar el cambio de modelo en una maquina en un tiempo objetivo de 12 minutos. Este trabajo de investigación describe una serie de desafíos y las soluciones implementadas en diferentes estaciones de la prensa, buscando incrementar su eficiencia y minimizar los riesgos para los operadores. Además, se enfoca en reducir el material defectuoso producido en la prensa, lo que contribuye a un aumento en la calidad y una disminución en los costos por unidad. Esto tuvo como resultado ahorros de miles de dólares en costos variables de la prensa.

**Palabras clave**— Cambio de Modelo, SMED, Automatización, Optimización.

## Abstract

In the current era, the automotive industry is in a state of constant transformation, caused primarily by the rapid integration of emerging technologies. Those companies that can stand out are those that not only innovate in design and functionality but also productive efficiency. Rivian, a prominent American company specializing in electric vehicles, is known for its bold designs and commitment to sustainability. However, when delving into the inner workings of your production plants, certain challenges arise. At the Rivian plant facilities, it has been detected that the stamping process, essential for modeling the steel parts of its vehicles, represents a bottleneck in the process with a large area of opportunity that requires prompt intervention due to high downtime in the press line that impacts production, specifically in the setting of material, there are a lot of manual operations that cause a lot of overtime that can be reduced with automated processes. In this article, a detailed development on the implementation and optimization of the process in a stamping press is presented, using the SMED methodology (Single Minute Exchange Die) to maximize and improve resource efficiency and meet production demand. Through this Lean Manufacturing tool, the stages, and cycles of the SMED are systematically applied to carry out the model change in a machine in a target time of 12 minutes. This research work describes a series of challenges and solutions implemented in different press stations, seeking to increase their efficiency and minimize the risks for operators. Additionally, it focuses on reducing defective material produced on the press, which contributes to an increase in quality and a decrease in unit costs. This resulted in savings of thousands of dollars in variable press costs.

**Keywords**— Technology Stamping, Automation, SMED.

## I. INTRODUCCIÓN

La industria automotriz se encuentra en medio de una evolución acelerada hacia la electrificación y digitalización, en un contexto de competencia sin precedentes. Rivian, una prominente empresa estadounidense especializada en vehículos eléctricos no es ajena a este desafío. A pesar de su constante innovación, enfrenta problemas operativos. Uno de los más relevantes se presenta en su proceso de estampado, donde el cambio de modelo, conocido como cambio automático de troquel (ADC por sus siglas en inglés), consume un promedio 180 minutos, notablemente alejado del estándar ideal

de 12 minutos para lo que la prensa está fabricada [1]. Esta discrepancia resulta en pérdidas significativas para la producción lo que conlleva a pérdidas monetarias. Como respuesta, se propone la implementación del sistema de cambio de intercambio de troqueles en un solo minuto (SMED por sus siglas en inglés), una herramienta de la manufactura esbelta cuyo origen proviene del método Toyota. Este enfoque se centra en acelerar los tiempos de preparación mediante la identificación y optimización de actividades, diferenciando tareas esenciales de las superfluas, eliminando acciones que no aporten valor y promoviendo una cultura de mejora continua [2].

- De acuerdo con una de las definiciones más claras sobre lo que es la Manufactura esbelta, “Manufactura Esbelta no es ni más ni menos que crear más valor para los clientes eliminando las actividades que no aporten valor al producto o servicio” [3]

La manufactura esbelta son un conjunto de herramientas que buscan eliminar todas las operaciones que no aportan ningún valor al producto, proceso o servicio final, incrementando la productividad y la Calidad en todos los procesos donde se aplica.

Para muchas personas, la Manufactura Esbelta es el conjunto de “herramientas” que ayudan en la identificación y eliminación estable de residuos. [4]

Dentro de la Manufactura Esbelta nació la necesidad de lograr la producción Justo a tiempo (JIT por sus siglas en inglés) cuyo enfoque es el de acortar los tiempos de preparación de las máquinas y de cambios de herramental, posibilitando hacer lotes de menor tamaño e incrementando la productividad. [5]

Esto se logra a través de la filosofía SMED el cual es un conjunto de teorías y técnicas para realizar las operaciones de cambio de modelo en menos de 10 minutos.

“Los tiempos de preparativos usualmente eran considerados como variables incontrolables dependiendo el tipo de operación realizada, pero cuando estos tiempos son analizados desde otra perspectiva, se puede observar y estudiar que son una serie de pasos secuenciales que pueden ser controlados” [6].

Mediante la ideología del sistema SMED se podrá aplicar cada uno de los pasos, realizar las instalaciones o renovaciones necesarias en la prensa, capacitar al personal, generar la documentación correcta de todas las instrucciones requeridas en el proceso, y se lograrán cambios de modelo de acuerdo con la especificación de la máquina, incrementando la producción, la calidad y reduciendo tiempo por paros de producción o material defectuoso (scrap usado en el sector automotriz) por falta de automatización. [7]

## II. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente la línea de estampado “F” de la empresa Rivian, la cual produce el 60% del total de partes de acero del vehículo tiene como tiempo estándar un cambio de modelo de 12 minutos, al realizar el este cambio de modelo (conocido como Changeover) de forma automática. Esto significa que, desde la última pieza en final de línea de un modelo, hasta la primera pieza del siguiente modelo debe haber transcurrido este lapso de tiempo. Actualmente el tiempo real promedio es de 180 minutos, un 17% de pérdida de tiempo contra el tiempo estándar de la máquina. Es por esto por lo que mediante la aplicación de las metodologías de la manufactura Esbelta se busca mejorar cada una de las operaciones al mismo tiempo que se reducen desperdicios. [8]

El sistema SMED surgió como respuesta a la necesidad de implementar la producción JIT, uno de los pilares fundamentales del sistema Toyota. Esta metodología fue diseñada para reducir significativamente los tiempos de preparación de máquinas, facilitando la producción en lotes más pequeños. El resultado es la capacidad de satisfacer las

demandas de los clientes con productos de calidad superior y costos reducidos, asegurando entregas ágiles sin incurrir en los gastos asociados a inventarios excesivos. Aunque sus raíces se encuentran en Japón, gigantes automotrices como Ford y GM han incorporado y adaptando esta estrategia con éxito en sus operaciones [3].

La filosofía de Toyota, que se muestra en la Fig.1, se enfoca en 4 principios que a su vez de desglosan en 14 capítulos para lograr adaptar esta filosofía en las empresas.



Fig. 1. 4P de Sistema Toyota [9].

Dentro de los capítulos de cada uno de estos principios resaltan:

1. El Pensamiento a largo plazo
2. Observación y aprendizaje
3. Estrategias a largo plazo, pero con pasos pequeños para su cumplimiento
4. Estandarización
5. Tecnología y automatización para soportar a los procesos y empleados
6. Generación de líderes
7. Creación de grupos de trabajo

Como en muchas empresas, la necesidad de optimizar procesos surge frente al aumento en la demanda del mercado y los cambios en tecnologías. Esto conlleva la producción de lotes más pequeños para conservar la competitividad y alcanzar los volúmenes requeridos, resultando en múltiples cambios de modelo. Alternativamente, al mantener lotes grandes, se generan almacenes más extensos y un alza en los costos. [10]

“La necesidad de hacer tiempos de cambio de modelo más cortos no es algo nuevo, desde hace mucho tiempo se ha estudiado que el tiempo que transcurre desde la última parte de una producción hasta la siguiente parte del producto que cumpla con los requerimientos de calidad, es un desperdicio de tiempo con costo extra” [7].

Es por esto, que se requiere reducir al mínimo los tiempos de cambio de modelo como se observa esquemáticamente en la Fig. 2, para lograr cumplir con la demanda del mercado y con la calidad de los productos, además de reducir costos de la empresa por inventario, almacén, tiempos muertos, etc.

Este cambio de modelo, corresponde al tiempo desde que se obtiene la última parte del modelo que se está produciendo, el operador detiene la máquina para proceder al cambio de lote lo que se conoce como ADC hasta que la máquina empieza a fabricar la primera unidad del siguiente producto en las condiciones especificadas de tiempo y calidad. El intervalo de tiempo correspondiente es el tiempo de cambio.

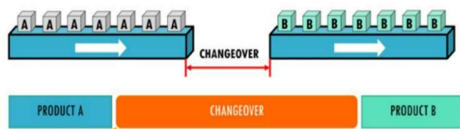


Fig. 2. Descripción de Cambio de modelo [1]

Los clientes tienden a hacer sus pedidos ya no en grandes cantidades de una misma parte, sino con variedad y diversidad. Asimismo, el tiempo total desde la confirmación del pedido hasta su entrega debe ser cada vez más corto [3].

Mediante el enfoque de la metodología SMED como se observa en la Fig. 3, el propósito es la reducción de tiempos preparativos y ajustes de la máquina, e incrementar este tiempo en tiempo disponible real de producción.

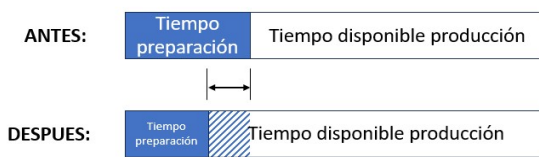


Fig. 3. Enfoque metodología SMED.

### III. METODOLOGÍA

La metodología se estructura en cuatro pasos esenciales como se puede apreciar en la Fig. 4. Al aplicarlos con el apoyo de herramientas específicas, se logra una significativa reducción del tiempo. Tras la implementación de estos pasos, el objetivo es perpetuar una cultura de mejora continua [11].

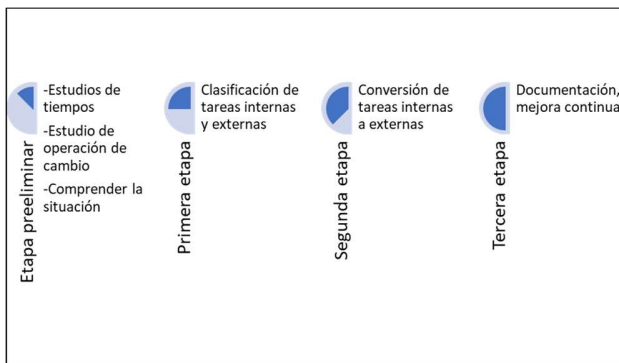


Fig. 4. Etapas de aplicación SMED

#### A. Etapa Preliminar: Comprender la Situación Mediante Análisis

Inicialmente, es esencial comprender nuestra situación actual, determinando el nivel de conocimiento que poseemos y lo que aún desconocemos. Para ello, utilizamos diversas herramientas destinadas a la recolección de datos, mediciones y captura de imágenes, permitiendo analizar en profundidad el proceso ADC y detectar posibles pérdidas de tiempo. Cabe mencionar que, en este momento, aún no diferenciamos las actividades internas de las externas. Para concretar este análisis, implementamos un formato de documentación que detalla cada actividad durante el cambio de modelo, permitiéndonos entender los pasos involucrados y sus respectivos tiempos. Esta metodología se basó en la observación de múltiples cambios de modelo en la

línea F. En este formato se categoriza cada una de las actividades que van a ser observadas, y si se están realizando con la máquina detenida o con la máquina funcionando para definir si son internas o externas.

#### B. Primera Etapa: Separación de Actividades Internas y Externas

Inicialmente, es esencial elaborar un listado secuencial de las actividades llevadas a cabo durante el set up, con el objetivo de distinguir entre actividades internas (aquellas que se realizan durante un paro de máquina) y externas (las que ocurren mientras la máquina opera normalmente). Una vez delineadas, es crucial analizar los tiempos asociados a cada actividad y detectar potenciales ineficiencias. Entre las primeras ineficiencias detectadas se encuentran:

- o Búsqueda prolongada de herramientas.
- o Recorridos ineficientes hacia áreas de trabajo y equipo.
- o Demoras a la espera del personal para arrancar la máquina.
- o Aguards por montacargas o grúas para la preparación de material.

Más allá de estos tiempos que podrían parecer menores, buscamos comprender y abordar actividades recurrentes durante el cambio de la prensa que se repiten sin añadir valor real al proceso productivo.

Se distinguen dos tipos de ajustes o categorías:

Ajustes internos: Operaciones que se realizan con la máquina detenida

Ajustes externos: Operaciones que se realizan o pueden realizarse con la máquina en producción o en funcionamiento

Además, mediante el uso de herramientas como el Diagrama de Spagueti, es posible optimizar los tiempos de preparación. Esta técnica facilita la asignación de rutas y actividades específicas a cada operador, contribuyendo también a una organización más eficiente del almacén y distribución en planta. Un ejemplo de esta mejora se ilustra en la Fig. 5.

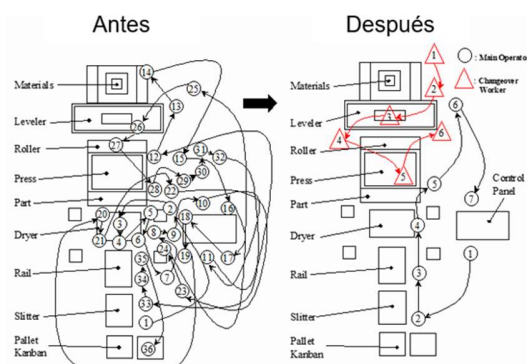


Fig. 5. Ejemplo de mejora de tiempos de rutas de operación.

En esta etapa del proceso se tomó la condición real de tiempos de cada actividad, el estado en que se encontraba la máquina al realizar la actividad y algunas observaciones que se

podían encontrar en cada una de las actividades, dando como resultado el siguiente análisis de la Tabla I:

TABLA I.  
TOMA DE TIEMPOS Y OBSERVACIÓN DE MEJORAS.

Nº	Operación	Tiempo de tarea	Clasificación		Observaciones
			Internal	External	
1	Confirmar producción siguiente	1:0 min		X	No se confirma preparativos listos
2	Descargar material de mesas de preparación	7-10 min.		X	No se tiene listo montacargas
3	Cargar material de producción siguiente	14:20 min.		X	No hay un mapa de localización de material
4	Inicio-termino de ADC	14 mins	X		Fallas en posicionamiento de motores por falta de calibración
5	Preparación de material y separadores magnéticos	12 min	X		
6	Mover manualmente alimentador a mesa de alimentación	2:0 min	X		
7	Producir primera pieza	7 min.	X		Tiempo perdido por falta de arranque en automático
8	Confirmación de calidad de primera pieza	10 min	X		
9	Inicio de producción				
Condición actual (min)		76 min			

Después de haber obtenido tiempos mediante diversas herramientas, como softwares de simulación, cámaras de video y cronómetros, esta etapa se enfoca en analizar las áreas de oportunidad detectadas. Posteriormente, se podrán definir mejoras específicas que contribuyan a optimizar los tiempos reales actuales.

C. Segunda etapa: Conversión de actividades internas a externas

Tras la evaluación inicial, se examinan las actividades susceptibles de mejora y se estiman los tiempos potenciales tras dichos ajustes. Al analizar el cambio de modelo y cada una de las actividades como se muestra en la tabla 2, se destaca que el tiempo empleado en la preparación manual y los ajustes de magnetos supera notablemente al estándar de la máquina. Esta discrepancia sugiere la posibilidad de optimizar el proceso a través de una automatización

Esta operación de preparación de material es realizada no solamente durante el cambio de modelo, sino que es una actividad repetida varias veces durante una producción de un mismo modelo, se realiza en promedio de 2 a 3 veces. Esto involucra una reducción en el tiempo de paro de máquina considerable si se logra automatizar el proceso.

TABLA II  
ACTIVIDADES DEL CAMBIO DE MODELO

Nº	Operación	Tiempo de tarea	Oportunidad	Target Time		Elimin tare
				Interna	Externa	
1	Confirmar producción siguiente	1:0 min	Tener actualizado el programa de producción de acuerdo a materia prima existente en planta	0	1:0 min.	
2	Descargar material de mesas de preparación	7-10 min.	Tener un montacargas asignado a la línea	0	5 mins.	
3	Cargar material de producción siguiente	14:20 min.	Realizar documentos de posicionamiento de material para lograr repetibilidad	0	6 min	
4	Inicio-termino de ADC	14 mins	Calibrar motores para evitar la interrupción del material	11 min		
5	Preparación de material y separadores magnéticos	12 min	Automatizar el proceso, actualmente se realiza en manual	5 min		
6	Mover manualmente alimentador a mesa de alimentación	2:0 min	Automatizar este proceso mediante ayuda de sensores	3 min		X
7	Producir primera pieza	7 min.	Arrancar la producción en modo automático	3 min		
8	Confirmación de calidad de primera pieza	10 min	Tener documentados todos los puntos a revisar específicamente en cada parte para reducir el tiempo de chequeo	0	7 min	
Condición actual (min)		76 min			Objetivo 22 min	

En la Tabla II, se puede observar el tiempo muy excedido comparado contra el diseño que está hecho la máquina que se

tenía en la actividad de preparación de los magnetos, además de que muchas variables influían para su desarrollo al ser una actividad manual desarrollada por distintas personas a lo largo del turno de trabajo.

D. Tercera etapa: Perfeccionamiento de tareas internas y externas

Después de minimizar el tiempo desperdiciado, el objetivo es seguir afinando y, si es posible, eliminar por completo estos tiempos improductivos. Es esencial capacitar a todo el personal involucrado, documentar adecuadamente los procesos y continuar buscando maneras de optimizar aún más los tiempos. Incluso con las mejoras ya implementadas, siempre hay espacio para mejorar. Además de esto es importante la etapa de estandarización.

“Estandarización: además de organizar las estaciones de trabajo, los procedimientos de trabajo deben estandarizarse tanto como sea posible. Para la estandarización de las actividades externas, a menudo se utilizan listas de verificación para que todo lo necesario para la próxima configuración pueda prepararse con anticipación. Estas listas de verificación especifican las herramientas necesarias para la máquina y las piezas necesarias para las fases de ajuste, así como cualquier operación que deba realizarse antes de que la máquina se detenga (preparación, verificaciones funcionales, limpieza de equipos) y, posiblemente, el número y nombre de los operadores que deberán encargarse de las actividades de configuración.” [12].

E. Resultados Esperados

Mediante la implementación de las diferentes fases del método SMED, se busca reducir paulatinamente el tiempo dedicado a la preparación en cada fase. La meta es culminar con un proceso que sea más eficiente y optimizado, tal como se detalla en el diagrama de la Fig. 6:

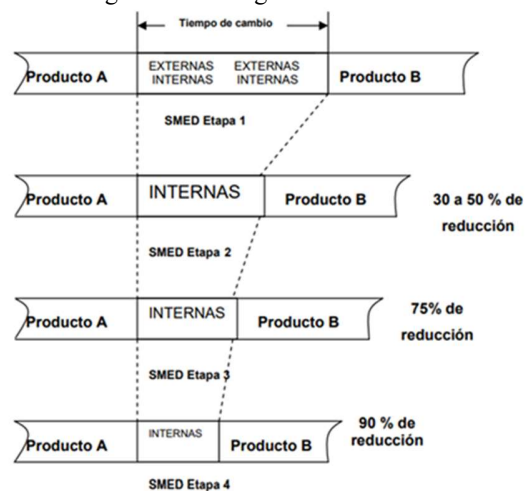


Fig. 6. Proceso optimizado por etapa

Tras la implementación de cada etapa del SMED [2], observaremos notables mejoras en nuestros procesos, tal como se ilustra en la Fig. 7:

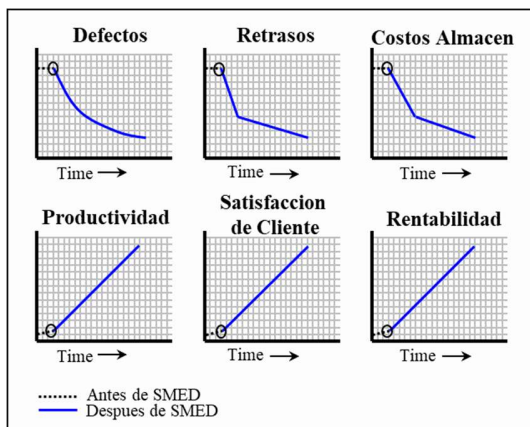


Fig. 7. Resultados de aplicación SMED

IV. PROCEDIMIENTOS

El enfoque principal de este artículo es la reducción de intervenciones manuales en el análisis del SMED. Tal como se detalla en la etapa 2 sobre la observación de actividades internas y externas, el tiempo destinado a la preparación del material es desproporcionadamente largo. A día de hoy esto se clasifica como un proceso interno debido a la necesidad de que el operador ajuste la máquina.

La observación revela que la implementación de sensores y el desarrollo de una lógica específica podrían ser soluciones efectivas para disminuir considerablemente el tiempo en cuestión.

Anteriormente, el operador tenía que desplazar manualmente el robot encargado de recoger el blank metálico y ubicar en la mesa de alimentación. Este proceso no solo era prolongado, sino que también presentaba variaciones entre operadores debido a sus habilidades individuales.

Se llevó a cabo un análisis de las variables presentes en el proceso de preparación de material, concluyendo que muchas de ellas dependen directamente del operador, como su destreza, tiempos de desplazamiento, y la necesidad de detener la máquina. En la siguiente Fig. 8, se detalla el análisis de estas variables:

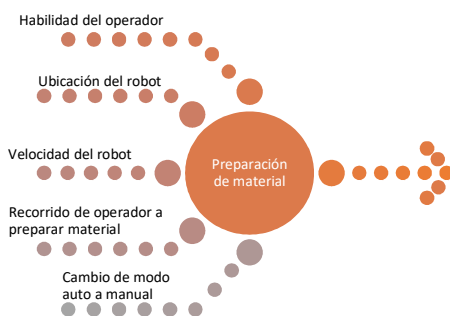


Fig. 8. Variables en preparación de material

A. Condición Actual

Para llevar a cabo la preparación del material, era necesario detener la máquina y cambiarla al modo manual, permitiendo así que el operador manipulase el controlador móvil. Dado que se tenía que parar la máquina, esta acción se cataloga como una

actividad interna.

Para realizar esta actividad, el operador debía desplazar los magnetos en la mesa alimentadora hasta que tocasen el perímetro de la pila material. Estos magnetos generan un campo magnético que separa las láminas de acero, evitando así que se alimenten múltiples piezas simultáneamente.

Como se ilustra en la Tabla III., se muestran los distintos pasos que se siguen para la alimentación de la materia prima a la prensa de estampado donde era necesario que el operador dirigiera manualmente el robot alimentador hacia la posición de recogida de plantilla. Una vez allí, se establecía contacto entre las copas de vacío y la plantilla superficial para generar succión, lo que permite la transferencia del material. A continuación, se definía manualmente la ruta que seguiría al robot hasta el conveyor también llamado banda transportadora de alimentación.

Una vez configuradas estas posiciones y trayectos, la máquina se ponía en marcha en modo automático. La Tabla III detalla los tiempos asociados a cada una de estas actividades.

TABLA III  
TIEMPOS DE OPERACIÓN SIN SENSORES DE ALTURA.

Actividad	Tiempo
Detener prensa	1 min
Caminar a posición de controlador móvil	2 min
Iniciar el controlador	1 min
Cambiar a modo manual	1 min
Ajuste de magnetos en posición	3 min
Ajuste de robot en posición de recoger	4 min
Ajuste de robot en posición de soltar	4 min
Inicio de producción	
Total	16 min

En la Fig. 9 se indican las partes principales de las mesas de preparación donde se sitúa la materia prima para que sea alimentada la prensa. Esta condición muestra las mesas sin la instalación de los sensores.

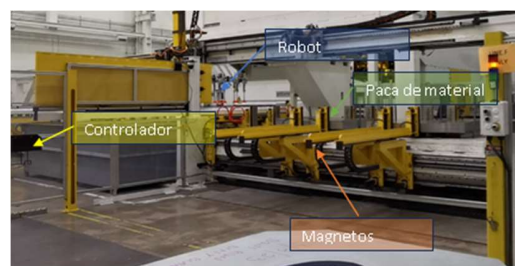


Fig. 9. Partes de mesas en pasos manuales

B Condición nueva: instalación de sensores

Mediante la instalación de sensores de altura se logró agregar en la lógica del controlador programable (PLC) inicio en automático de la alimentación de plantilla de las mesas hacia la prensa, sin la necesidad de hacer este proceso de forma interna, es decir al seguir teniendo la prensa en movimiento, logrando además de reducir muchos pasos manuales que se requerían. Como se presentan en la tabla 3 después de esta optimización se lograron los siguientes tiempos.

En conjunto con el equipo interno de Mantenimiento y Controles, se buscó la posibilidad de realizar este proceso de

manera automático, buscando la repetibilidad, el ahorro de tiempo y asegurando la seguridad del operador. Es por eso que se determinó la necesidad de un dispositivo que pudiera leer la altura de paca de material que se tenía cargada en la mesa de alimentación, de manera que pudiera leer cuanto material restaba por producirse hasta poder tener una lectura de que no había material.

Dentro del mercado actual existen muchos tipos de sensores para las diferentes aplicaciones, se decidió la instalación de un sensor de tipo laser analógico que pudiera mandar lecturas al PLC y tuviera compatibilidad con la familia de controladores lógicos de la familia Allen-Bradley utilizados en la empresa.

El sensor de la marca Keyence como el de la Fig. 10, cumplía con las características requeridas, además de ser una marca con alta calidad y precisión en sus lecturas. Se decidió instalar dos sensores en cada mesa de trabajo (derecha e izquierda) para tener una lectura más real y precisa de la altura de material y poder automatizar el proceso de cambio de mesa.



Fig. 10. Sensor laser para altura de material

En la Fig. 11, se muestran los puntos donde se instalaron estos sensores que permiten la lectura del material que se encuentra en la mesa de alimentación

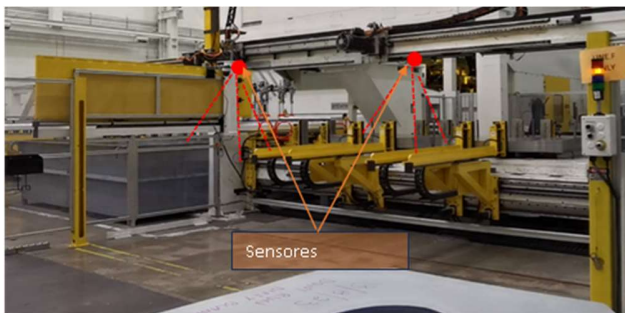


Fig. 11. Instalación de sensores en mesas de alimentación

C Cambios en la lógica del PLC

Mediante la instalación de los sensores de altura, el siguiente paso consistió en programar el Robot alimentador. Así, se eliminó la necesidad de intervención manual del operador al cambiar de una mesa a otra, haciendo más rápido el proceso y más seguro Este avance se logró ajustando la lógica del PLC. En la Fig. 12, se puede observar una sección de la rutina de programación que controla esta sección de la prensa, donde se agregaron las condiciones de los nuevos sensores, de esta manera, cuando uno de los dos sensores detecta que la mesa está vacía (1309 mm), el sistema instruye al robot para que realice el cambio de mesa de forma automática.

V. RESULTADOS

Como se puede observar en el desarrollo de estas actividades y la descripción de este artículo, se ha buscado utilizar las herramientas fundamentales de la Manufactura Esbelta, que han sido pilares en la industria desde sus inicios.

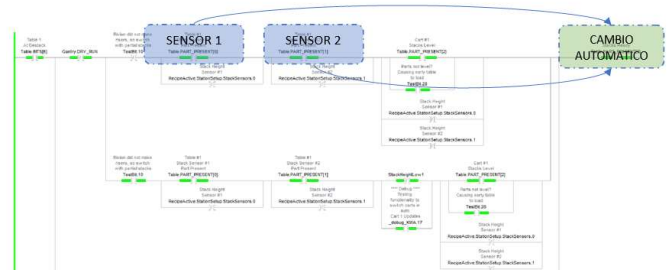


Fig. 12. Modificación de Lógica para automatización de proceso

Adicionalmente, se ha procurado integrar nuevas tecnologías, automatización e inteligencia artificial, alineándolas con los principios de la industria 4.0. El análisis realizado en este estudio demuestra la viabilidad de actualizar y modernizar las herramientas y métodos establecidos de Lean, mejorando su eficiencia y efectividad, y también la posibilidad de otorgar nuevas características y alcance a algunos de ellos, generando no solo una mejora sino una transformación [13].

Con la reciente instalación, logramos la automatización del proceso de calibración de la mesa durante la alimentación de las plantillas para el estampado. Los tiempos detallados para cada actividad, después de la instalación y programación de los nuevos sensores, se presentan en Tabla IV.

TABLA IV  
TIEMPOS CON LA NUEVA CONDICIÓN

Actividad	Tiempo
Detener prensa	0 min
Caminar a posición de controlador móvil	0 min
Iniciar el controlador	0 min
Cambiar a modo manual	0 min
Ajuste de magnetos en posición	2 min
Ajuste de robot en posición de recoger	2 min
Ajuste de robot en posición de soltar	2 min
Inicio de producción	
Total	6 min

Con estos cambios, se logró la reducción de 10 minutos en cada calibración del robot destinado a alimentar la prensa de estampado. Dicha calibración se lleva a cabo con cada lote de material durante la producción de las piezas. En promedio, registramos un total de:

- Lotes de producción: 600 piezas.
- Cantidad de plantilla por paca= 200 piezas.
- Total de pacas usadas por paca= 3
- Total de partes producidas por día en promedio: 4000
- Cantidad de minutos ahorrados: 200 min= 3.33 horas
- Dinero ahorrado por costos de máquina= 700dls/hr = 3.33 \* 700= \$2,331.00 UDS / día

Además del ahorro en los costos diarios relacionados con los gastos fijos de operación de la prensa, el tiempo de ADC de la línea F estaba se encontraba entre los tres principales motivos de paro de máquina, con un promedio de 1.7 horas diarias. En la Fig. 13 se observa la condición que se tenía previo a la instalación de los sensores, donde el tiempo de ADC se situaba en el top 3 de tiempos muertos de la prensa.

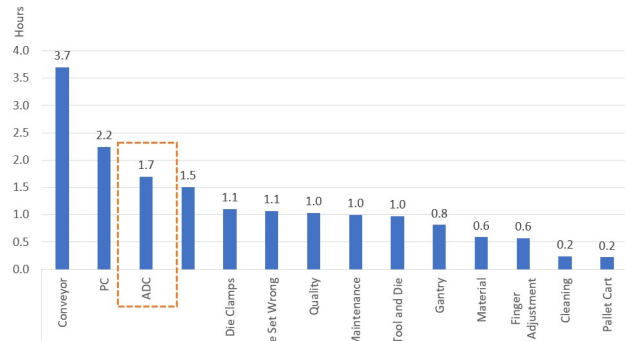


Fig. 13. Tiempos de paro de máquina antes de instalación de sensores Ene 2022-Jun 2022

Como se observa en la Fig. 14, se ha logrado reducir este tiempo a un promedio de 0.7 minutos. Aunque ya es avance significativo, aún se continúa trabajando en mejoras continuas. Se planea instalar nuevos sistemas y optimizar los procesos actuales, siguiendo la filosofía del SMED y buscando mejoras que ayudan a la evolución del proceso de estampado actual [14].

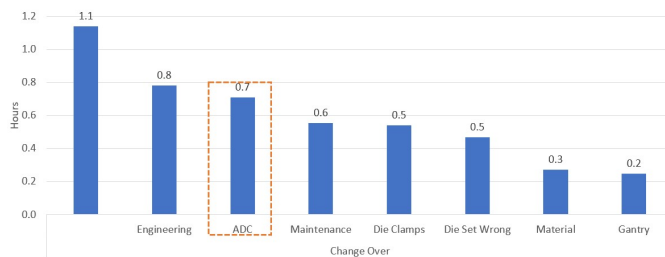


Fig. 14. Tiempos de paro de máquina después de instalación de sensores Jul 2022-Dic 2022

En resumen, los avances y optimizaciones que se han implementado no solo han generado ahorros tangibles en tiempo y costos, sino que también reflejan el compromiso inquebrantable con la eficiencia y la calidad. Aún se continúa trabajando, convencidos de que, al abrazar metodologías como SMED y fomentar una cultura de mejora continua, se asegura un futuro más brillante y competitivo para nuestra empresa en el mercado automotriz.

Con la implementación de las mejoras descritas en este artículo, se ha conseguido integrar las tecnologías de la industria 4.0 con el conocimiento actual del sistema SMED, optimizando así los procesos [15]. Este enfoque ha dado lugar a un estudio contemporáneo y aplicado, que puede ser de gran utilidad tanto para profesionales como académicos interesados en comprender a fondo los desafíos y oportunidades que presentan la metodología SMED con el contexto actual. Como afirma [16] “cuando la integración alcanza el nivel de la cadena de suministro, se emplean simultáneamente una amplia gama de Tecnologías de Información Digital (IDT) de la industria, así como diversas prácticas Lean”.

## VI. AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece el apoyo de CIATEQ y de la empresa y grupo de trabajo en Rivian, que con todo el análisis de datos y la instalación de las diversas mejoras siempre hubo el apoyo y la comunicación correcta como equipo de trabajo. Además de agradecer el gran apoyo del asesor el Dr. Luis Cáceres y la Dra. Isabel Pereyra por su constante retroalimentación y el fuerte apoyo durante estos meses de trabajo en este artículo sobre SMED, mejorando en el análisis y representación de datos ya que con los conocimientos y la experiencia de ambos se facilitó la realización y culminación de este proyecto.

De igual manera los autores agradecen a la Revista Politécnica de Aguascalientes por permitir la publicación de este artículo.

## VII. REFERENCIAS

- [1] Springer-Verlag. (1998). Transfer of panels. In Springer-Verlag, Metal Forming Handbook (p. 245). Berlin: Schuler
- [2] Daniel, K. (2011, September 10). Club Ensayos . Retrieved from Club Ensayos: <https://www.clubensayos.com/Temas-Variados/El-SMED/60650.html>
- [3] Gámez, A. (2008). Situar el sistema SMED como una herramienta de "Lean Manufacturing" para mejorar los tiempos de preparación, ajuste y cambios de herramientas. Sonora, Mex.: Universidad de Sonora.
- [4] Ulutas, B. (2011). An application of SMED Methodology. In World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing
- [5] Shingo Shigeo, D. A. (1985). A Revolution in Manufacturing: The SMED System. In S. Shigeo, Shigeo Shingo (pp. 26-27). CRC Press.
- [6] Shigeo, S. (1989). El Sistema de Producción Toyota desde el punto de vista de Ingeniería. In S. Shigeo. Madrid: Productivity Press.
- [7] D. Van Goubergen, H. V. (2002). Rules for integrating fast changeover capabilities into new equipment design. In D. V. Goubergen. Robot Comput Integr Manuf.
- [8] Matute, B. (2014). Diseño de troqueles para la fabricación de la pieza sopore pulsador. UPNA, 42.
- [9] Likker, J. K. (2020). The Toyota Way, Second Edition: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. In L. J. K., The Toyota Way (p. Chapter 9).
- [10] Gonzalez Correa, F. (2007). Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing). Revista Panorama Administrativo, 85-112. McGraw-Hill Education.
- [11] Cabrera, L. R. (2018). Automatización del proceso de estampado en frío en una prensa tipo transfer. Valencia: Master en Ingeniería Mecatronica.
- [12] Braglia M., D. P. (July 2023). Quick changeover design: a new Lean methodology to support the design of machines in terms of rapid changeover capability. Journal of Manufacturing Technology Management, Volume 34 Issue 9
- [13] Pecas, P., & Faustino, M. L. (2022). Lean methods digitization towards lean 4.0: a case study of e-VMB and e-SMED. Springer Link.

- [14] Mezadia, C. (2018). Proceso de estampado. Retrieved from [Estampado revista: https://estampado394457290.wordpress.com/author/carmenmezadia/](https://estampado394457290.wordpress.com/author/carmenmezadia/)
- [15] Womack James, J. D. (2007). The Machine that Changed the World. In S. a. Schuster. Free Press.
- [16] Ciano, M. (2020). One-to-one relationships between Industry 4.0 technologies and Lean Production techniques: a multiple case study. Taylor & Francis Online.