

# Innovación y mejora continua en maquinado automotriz con maquinas hydromat

Salam Elias Gutierrez<sup>1</sup>, Jan Mayen<sup>2</sup> e Isa Pereyra<sup>2</sup>  
Posgrado CIATEQ A.C.<sup>1</sup>, CONAHCYT-Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ)<sup>2</sup>  
Aguascalientes, Ags<sup>1</sup>; San Luis Potosí, S.L.P.<sup>2</sup>; México  
salameliasgtz@gmail.com, isabel.pereyra@ciateq.mx

**Abstract**— Globalization has propelled an unprecedented change in international business dynamics, demanding a degree of innovation from companies to stay current in an extremely competitive world scenario. This is particularly evident in the field of the automobile manufacturing industry, where industrial companies in Mexico have integrated the concept of reengineering in the production of their automatic rotary transfer chip cutting machines. The implementation of the Single Minute Exchange of Die method has been crucial to optimize time and quality in manufacturing. This initiative has brought significant corporate benefits, positively impacting employees and customer satisfaction, aligning with the goals of sustainable production and excellence in a global business environment.

**Keyword**—Single Minute Exchange of Die, Rotary Transfer Machines, Reengineering

**Resumen**— La globalización ha desencadenado un cambio sin precedentes en la dinámica comercial mundial, obligando a las empresas a innovar continuamente para competir en un mercado global. Esto es particularmente evidente en la industria automotriz, donde las empresas mexicanas han integrado la reingeniería en la producción de sus máquinas de corte de viruta de transferencia rotativa automática. La implementación del método Single Minute Exchange of Die ha sido crucial para optimizar tiempo y calidad en la fabricación. Esta iniciativa ha traído beneficios corporativos significativos, impactando positivamente en los empleados y en la satisfacción del cliente, alineándose con las metas de producción sostenible y excelencia en un entorno empresarial global.

**Palabras claves**—Cambio de dado en un minuto, Maquinas de transferencia rotativa, Reingeniería.

## I. INTRODUCCIÓN

En México, la industria manufacturera es un pilar económico crucial, empleando a más de 6.5 millones de personas y representando una porción significativa del Producto Interno Bruto (*PIBEntFed2019*, n.d.). Según Data México, en el segundo trimestre de 2022, las ocupaciones predominantes en este sector incluyeron ensambladores y montadores de partes eléctricas, así como operadores de máquinas para productos de plástico y hule. Recientemente, la producción sostenible se ha convertido en un imperativo esencial (Afonso et al., 2022).

Aguascalientes se destaca por su significativa contribución al sector manufacturero, representando el 2.1 % del Producto Interno Bruto de este sector. La pandemia ha introducido desafíos en la industria, similares a los que impulsaron el desarrollo del Lean Manufacturing durante la Segunda Guerra Mundial (Sarria Yépez et al., 2017). La automatización y la metodología “Single Minute Exchange of Die” (SMED), han emergido como respuestas clave a estos desafíos modernos, especialmente en la fabricación automotriz.

Las máquinas enfocadas en el cambio de modelo están específicamente diseñadas para que los maquinados converjan concéntricamente en cada estación. Cada husillo, ubicado periféricamente a la mesa circular que contiene la pieza a maquinar, permite maquinar una pieza en su totalidad y descargarla en la última estación en menos de 10 segundos, dependiendo del número de parte a procesar. Este diseño permite estandarizar el herramental, desde los elementos de sujeción de la pieza hasta las herramientas de corte. La pieza resultante (Hexport), estandarizada por el diseño del producto, facilita el

trabajo concéntrico en todos los maquinados y permite el diseño concéntrico de los herramientas utilizados para el ensamble de sensores automotrices como se observa en la figura 1.

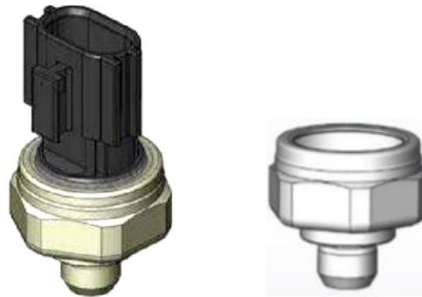


Figura. 1. (Base metálica aluminio 6061 “Hexport”) & Sensor automotriz (Assembly Pressure Transducer)

La línea de manufactura automotriz ha experimentado un crecimiento en el número de máquinas, lo que ha incrementado la búsqueda de eficiencia y disponibilidad. Se identificó una oportunidad de mejora en los cambios de modelo, revelando deficiencias en la integración de una metodología adecuada para cambiar herramientas, programas de control numérico y herramientas de corte de manera eficiente. Esto ha resultado en una baja productividad para la línea de manufactura, especialmente debido a los prolongados tiempos muertos. Con la integración de más números de piezas y el incremento en el número de máquinas, se anticipan retos aún mayores en el futuro.

La máquina piloto Hydromat 191 fue seleccionada en base a los antecedentes y consideraciones como la capacidad de ajustes en su configuración según la demanda de producción, la variedad de números de parte a producir, la capacidad de producir más de tres números de partes distintos, la frecuencia de cambios de modelo, y la clasificación de los cambios de modelo en tres categorías: menor, intermedio y mayor ver figura 2.

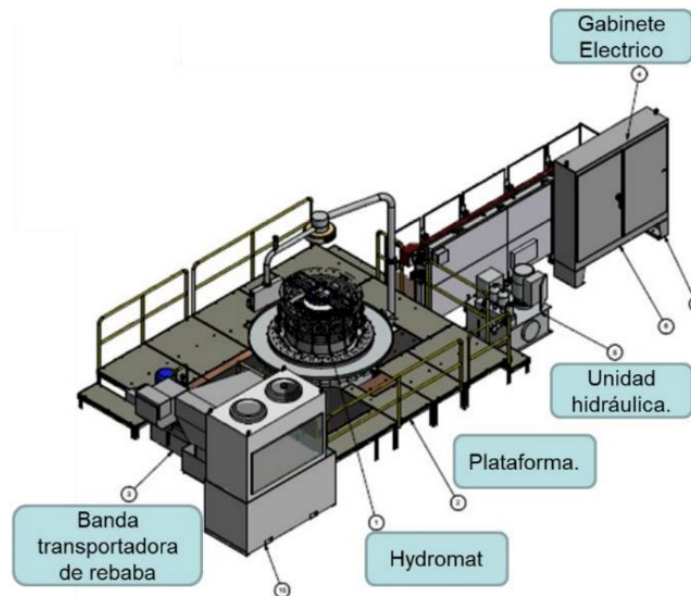


Figura 2. Máquina rotativa de transferencia “Máquina de corte viruta”. Hydromat INC.

Basado en esta clasificación y la cantidad de cambios de modelo, se eligió la máquina 191 como representativa para este caso práctico y para expandir posteriormente la metodología a todo el negocio. La máquina 191 fue seleccionada por su uso predominante de aluminio, que representa el 95% del total del negocio. Las máquinas 173 y 185 fueron descartadas por ser únicas en su producción de piezas de acero y acero inoxidable, respectivamente.

## II. METODOLOGÍA

La aplicación de la metodología Single Minute Exchange of Die (SMED) en las máquinas de transferencia rotativa de corte viruta es vital para reducir significativamente el tiempo de cambio de modelo en el maquinado de partes metálicas. SMED se ha implementado en distintas áreas y sectores industriales (Amrina et al., 2018), con el objetivo de optimizar los tiempos de proceso y la productividad.

Las empresas están cada vez más enfocadas en la calidad de sus productos y la satisfacción del cliente (Antosz & Pacana, 2018), así como en mejorar sus tiempos de entrega (Azizi & Manoharan, 2015). Este método identifica y elimina acciones innecesarias durante el cambio del modelo, facilitando así la transición entre piezas. Su fin principal es minimizar las horas invertidas en actividades internas y acelerar las actividades externas, reduciéndolas a minutos. En entornos de alta demanda de producción, es crucial minimizar el tiempo de inactividad de la máquina para lograr una mayor eficiencia y productividad. SMED surge como una solución efectiva para agilizar los cambios de modelo, eliminando tareas que no aportan valor al producto y generan costos adicionales (Ahmad & Soberi, 2018).

Esta metodología, esencial en la manufactura esbelta, mejora los cambios de modelo y minimiza los tiempos muertos (*Lean Manufacturing Conceptos, Técnicas e Implantación Medio Ambiente Industria y Energía*, n.d.). Se basa en tres procesos clave:

1. Diferenciación entre actividades internas y externas

Inicialmente, se distinguen las actividades de preparación internas de las externas durante un cambio de modelo. Se listan todas las actividades involucradas en el cambio de modelo para luego clasificarlas como se puede observar en la tabla 1.

2. Transformación de actividades internas en externas

Las actividades internas se transforman en externas, con el objetivo de realizarlas mientras la máquina está en funcionamiento. Esto implica que las tareas que se realizaban con la máquina detenida ahora se efectúan con la máquina en funcionamiento.

3. Optimización de la efectividad y eficiencia

Se implementan métodos sencillos de trabajo para erradicar tiempos muertos, incluyendo la creación de listas de actividades por departamento responsable del cambio de modelo (Checklist), el pre-establecimiento (Preset) de herramientas de corte en sus adaptadores para la máquina Hydromat, y la identificación física de los instrumentales.

La selección de esta metodología considera aspectos como el tipo de proceso de manufactura de maquinado, la similitud en el proceso entre números de parte, y la generalización de la materia prima, como se observa en la tabla 2. También se tiene en cuenta la demanda de los números de parte y la cantidad de máquinas disponibles.

Tabla 1. Lista de actividades internas y externas.

| Actividades externas                       | Actividades Internas                            |
|--|---|
| Revisión de modelo/herramientas necesarias | Quitar porta herramientas de máquina            |
| Revisión de inventario de herramienta      | Comunicar a herramientas y mantenimiento        |
| Aviso de cambio de modelo en junta         | Avisar a calidad, herramientas y mantenimiento  |
| Hacer entrega de herramientas a técnicos   | Descargar máquina                               |
| Avisar a calidad recolección de scrap      | Cerrar atado a job                              |
| Cargar nuevo atado en carro transportador  | Retirar material a lavadora                     |
| Abrir nuevo atado                          | Limpieza de banda transportadora y canaleta     |
| Avisar a calidad para liberación           | Vaciado de aceite de tanques (manual)           |
| Cargar atado a máquina                     | Limpieza de lodo de tanques                     |
| Retirar basura a contenedores              | Llenado de tanques de aceite                    |
| Buscar documentación                       | Limpieza de filtros                             |
| Buscar equipo de medición                  | Preparar herramienta                            |
| Traslado de cuarto de calidad a máquina    | Colocar herramienta en Zoller x 13 herramientas |
| Retirar equipo de medición no necesario    | Quitar herramienta x 13 herramientas            |
| Colocar equipo de medición necesario       | Lavar porta herramientas x 13 herramientas      |
| Traslado de máquina a cuarto de calidad    | Ajustar herramienta x 13 herramientas           |
| Guardar equipo de medición                 | Boquillas de cuarto de mantenimiento a máquina  |
|  | Retirar boquillas de máquina                    |
|  | Limpiar cavidad de boquillas                    |
|  | Colocar boquillas                               |
|  | Restirar tubos guías                            |
|  | Retirar buje o dado                             |
|  | Limpiar cavidad de tubos y buje                 |
|  | Colocar buje                                    |
|  | Colocar tubos                                   |
|  | Retirar dado de invertidor                      |
|  | Ajuste de poleas                                |
|  | Abrir cavidad de husillo de roscado             |
|  | Retirar tuercas y tornillo de paso              |
|  | Colocar tuerca y tornillo de paso               |
|  | Lavar tornillo de paso                          |
|  | Lavar boquillas                                 |

Tabla 2. Tipo de aleación a utilizar durante la experimentación. Tipos de material utilizados

| Material         | Aleación    | Sección del material |
|------------------|-------------|----------------------|
| Aluminio         | 6061/T6511X | Hexagonal & Circular |
| Acero al carbón  | 12L14       | Hexagonal            |
| Latón            | C36000 H02  | Circular             |
| Acero inoxidable | 304L        | Hexagonal            |
| Cobre            | C101 & C110 | Circular             |

Las máquinas Hydromat para el corte de metal son la tecnología elegida para esta metodología. Estas máquinas permiten la estandarización para futuros proyectos e introducción de nuevos números de parte.

La elección de esta metodología se basa en consideraciones como el tipo de proceso de manufactura de maquinado, la similitud en el proceso de maquinado entre números de parte, y la generalización de la materia prima para grupos de números de parte ver tabla 2. Además, se considera la demanda de los números de parte y la cantidad de máquinas disponibles, buscando realizar los cambios de número de parte en el menor tiempo posible.

*A. Funcionamiento de la máquina rotativa*

Se proporciona una descripción general de la máquina rotativa para el mecanizado de metales como se muestra en la figura 3, que parte de una barra metálica estándar de 12 pies, adecuada para el alimentador automático de todas las máquinas. Se muestra un esquema general de una máquina de transferencia rotativa de corte de viruta de 16 estaciones, incluyendo partes fundamentales como el Barfeeder, Platform, Chip conveyor & coolant tank, Hydraulic power pack, Electrical control cabinet, Machine Base, y Pendant control.

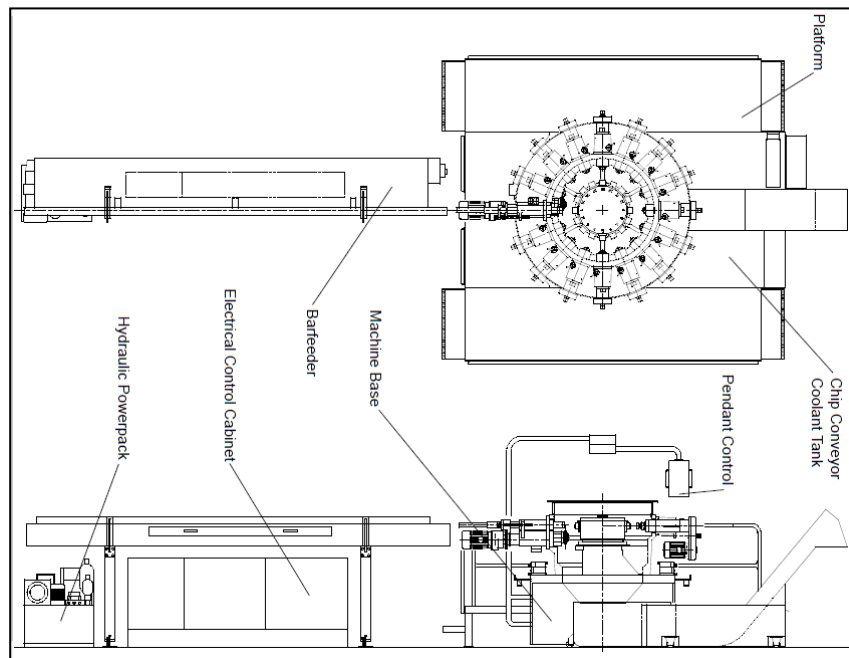


Figura 3. Esquema de máquina rotativa de transferencia, vista superior y lateral.

El objetivo principal es alimentar la máquina con diferentes tipos de material como se muestra en la figura 4, utilizando tubos guía y bujes intercambiables que varían según la sección transversal y la dimensión de la barra (figuras 4, 5 y 6). La mesa giratoria tiene 12 o 16 estaciones, dependiendo de la necesidad del proceso de corte ver figura 7, y los componentes para el cambio de modelo están integrados en ella.

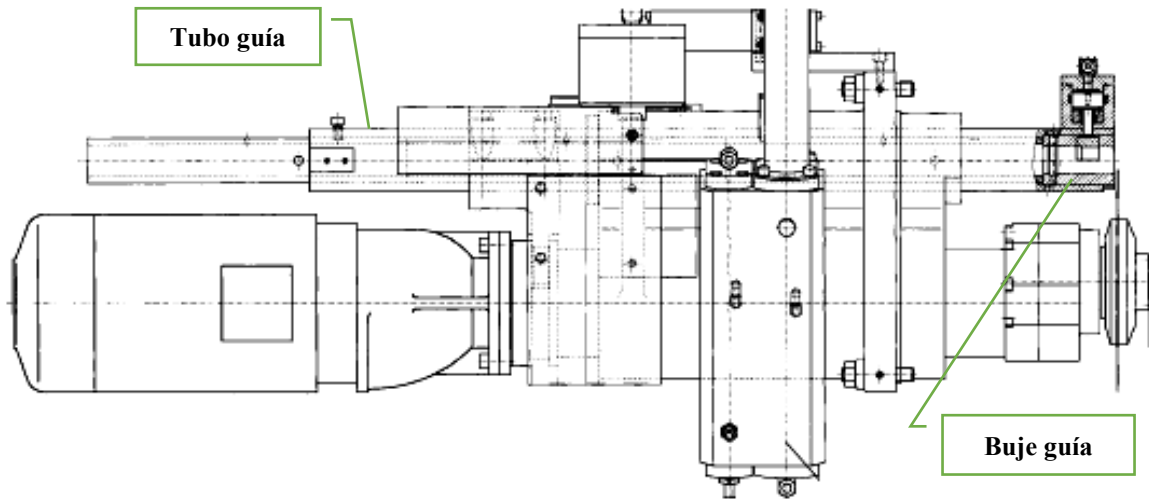


Figura. 4. Imagen ilustrativa de unidad para corte transversal mediante sierras dentadas.

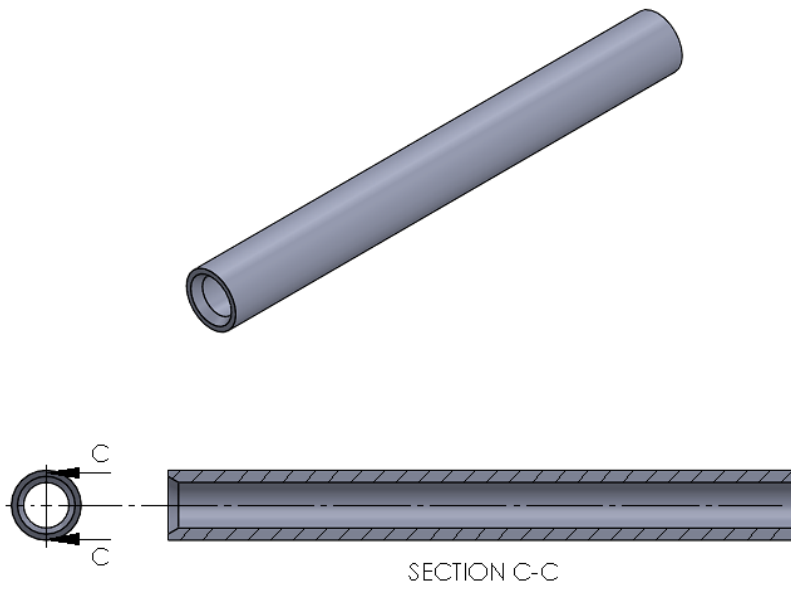


Figura. 5. Imagen ilustrativa de tubo guía, el diámetro interior de la barra depende del tipo de material a cortar.

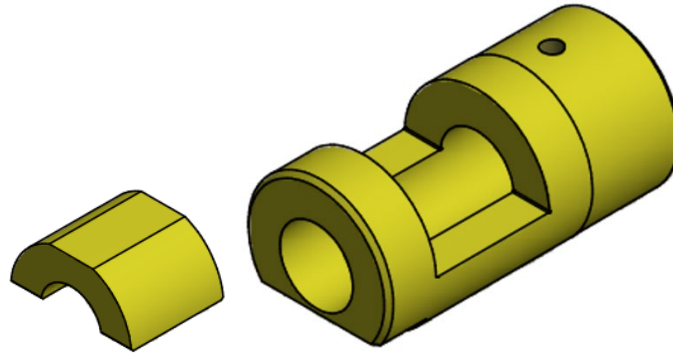


Figura. 6. Imagen ilustrativa de un buje guía.

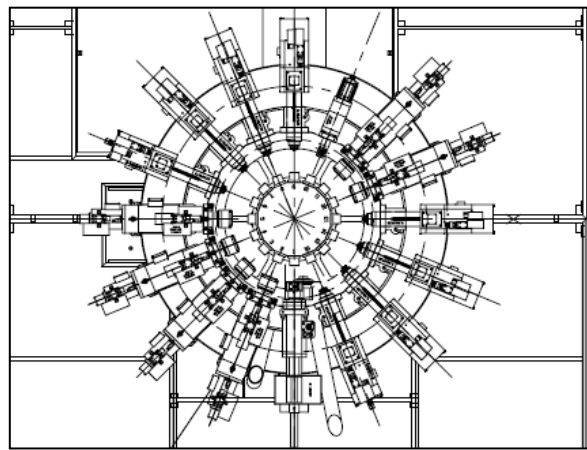


Figura. 7. Mesa giratoria de 16 estaciones vista superior.

El ensamble del herramental, conocido como 'boquilla', se intercambia en cada base de la máquina. Esta boquilla, que es el componente número 1 en la estructura, se sitúa en el interior de cada base, como se muestra en la figura 88. Este proceso de intercambio asegura la adaptación y preparación adecuada de la máquina para cada operación de maquinado específica

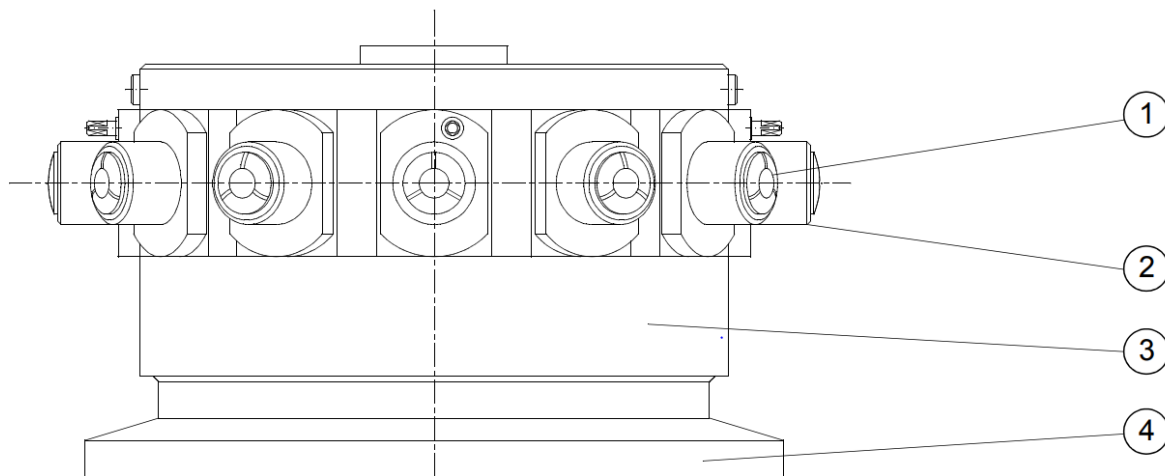


Figura. 8. Mesa giratoria de 16 estaciones vista lateral.

En la figura 9 se presenta un despiece detallado de este herramienta de sujeción. Este despiece ilustra cómo se ensambla la boquilla para sujetar de forma segura la barra o tocho de material que será maquinado. Este nivel de detalle es crucial para entender cómo se configura y se prepara la máquina para procesos de maquinado específicos, garantizando así la precisión y eficiencia en cada operación.

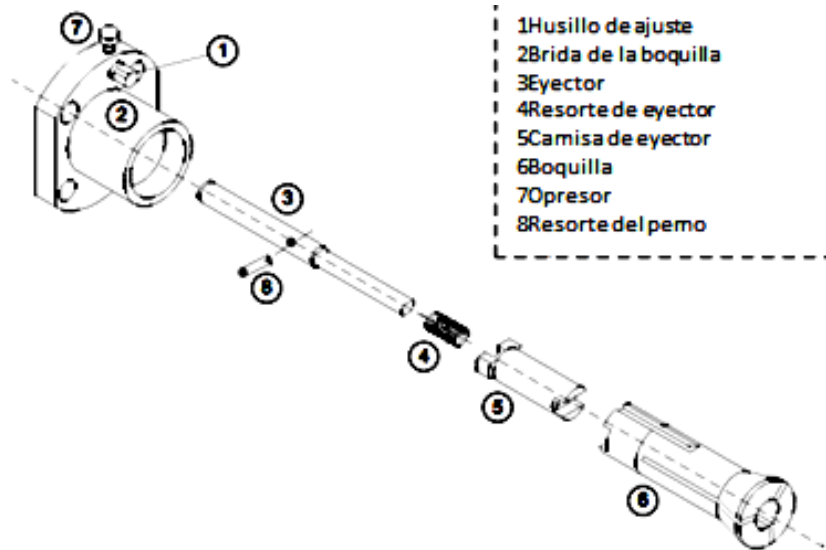


Figura. 9. Vista explosiva de partes componentes del herramienta para cambio de boquillas máquina.

El proceso de corte en las máquinas de transferencia rotativa de corte de viruta se distribuye a través de cada uno de los husillos de sus 16 estaciones. Una estación particularmente crítica para la puesta a punto y el cambio de modelo es aquella que incorpora el componente conocido como 'invertidor', ilustrado en la figura 10. Este invertidor juega un papel fundamental en el proceso, ya que está específicamente diseñado para manejar el herramienta necesario para el cambio de modelo. Su función es vital en la transición y preparación de la máquina para distintas operaciones de corte, asegurando que cada estación esté equipada con las herramientas adecuadas y configurada correctamente para el proceso de maquinado específico que se realizará.

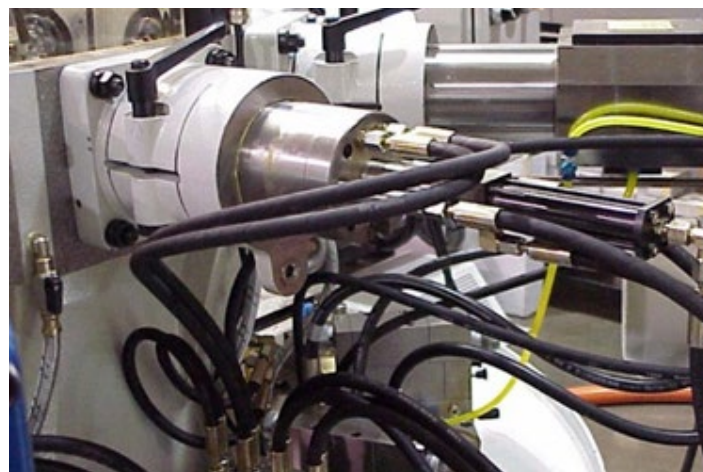


Figura 10. Unidad del mecanismo denominado invertidor, vista exterior



Un componente crucial en el proceso de maquinado en las máquinas de transferencia rotativa de corte de viruta es el 'invertidor'. Este mecanismo desempeña una función esencial al retirar la pieza de trabajo de las boquillas de sujeción en la mesa giratoria, identificada como el componente número 1. El invertidor opera de forma individual sobre cada una de las 16 o 12 boquillas de la máquina, dependiendo de su configuración específica.

La función principal del invertidor es girar o invertir la pieza de trabajo. Esto permite que se maquine el lado opuesto de la pieza, que permanecía oculto durante el proceso de maquinado en las estaciones anteriores. Este paso es vital para garantizar que ambas caras de la pieza sean procesadas con precisión y eficacia, asegurando así la calidad del producto final.

El proceso de inversión de la pieza, así como la operación detallada del invertidor en el ciclo de maquinado, se pueden visualizar claramente en el esquema de referencia del proceso, presentado en la figura 11. Este esquema proporciona una visión detallada de la interacción del invertidor con las piezas y las boquillas, subrayando su importancia en el proceso de maquinado y cómo contribuye a la eficiencia y efectividad general de la máquina.

#### *B. Puesta a punto de los husillos*

En el proceso de maquinado, la puesta a punto de los husillos es un paso crítico que define la eficiencia y precisión del corte. Las condiciones de corte de una herramienta giratoria se determinan principalmente por dos parámetros esenciales: la velocidad de rotación y el avance de corte. La velocidad se mide en revoluciones por minuto (RPM), lo que indica cuán rápido gira el husillo. Por otro lado, el avance de corte se expresa en pulgadas por minuto (in/min), representando la rapidez con la que la herramienta de corte avanza a través del material.

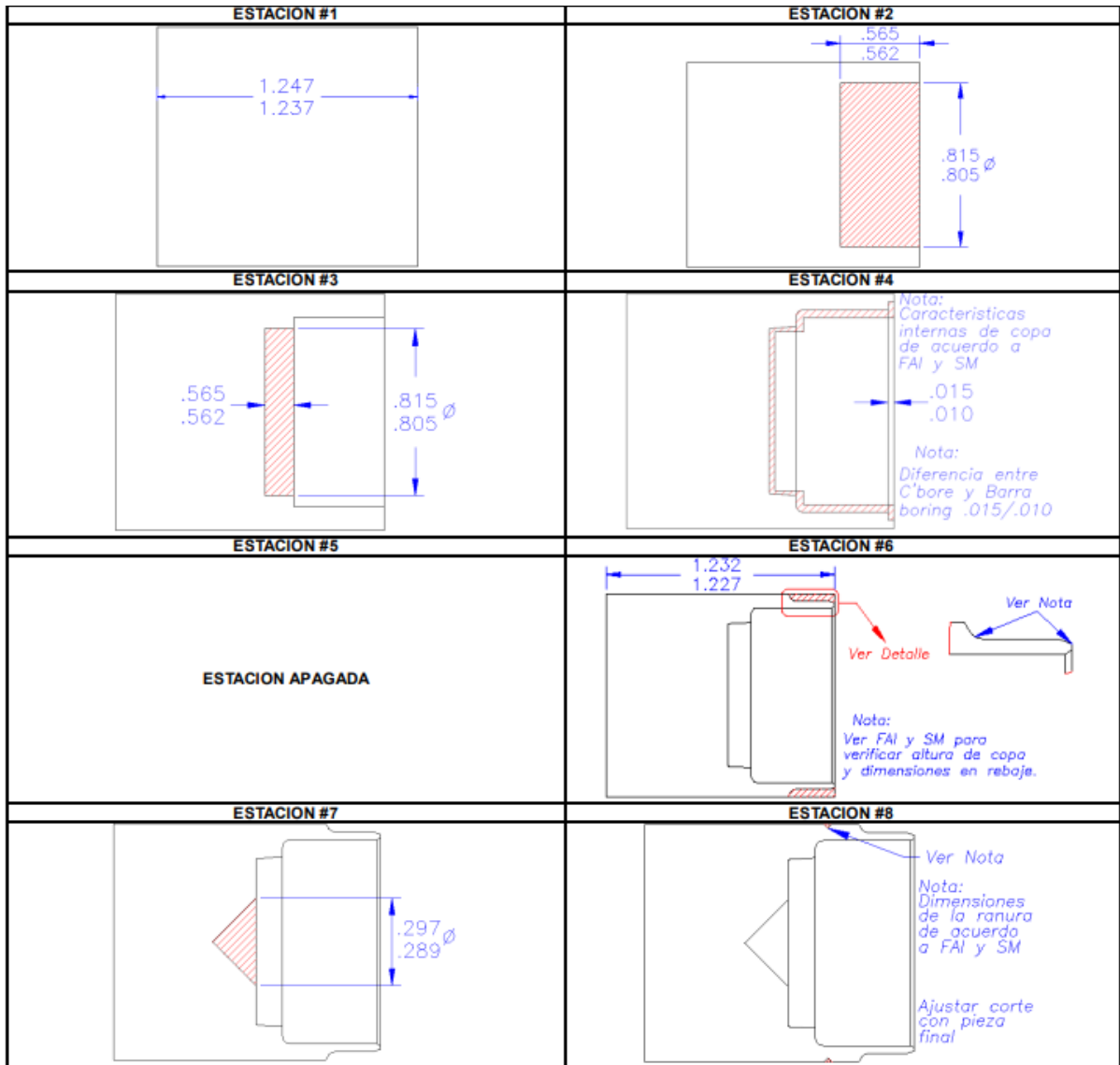


Figura 11. Secuencia de maquinado por estación, documento de referencia.

Estos parámetros son fundamentales porque influyen directamente en la calidad del corte y en la eficiencia del proceso de maquinado. Una velocidad y un avance de corte adecuados garantizan cortes precisos y minimizan el desgaste de la herramienta.

Los componentes mecánicos que forman parte de la transmisión del husillo, y que son responsables de controlar estos parámetros, se pueden observar detalladamente en la figura 12. Esta figura muestra cómo cada parte del mecanismo del husillo contribuye al ajuste preciso de la velocidad y el avance, elementos clave para lograr un maquinado óptimo y eficiente.

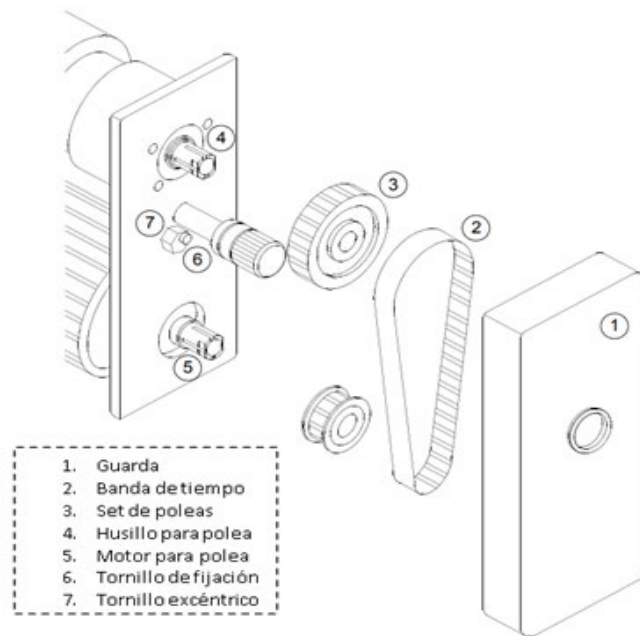


Figura 12. Esquema de partes componentes para la transmisión de giro en el husillo.

Además de las adaptaciones en las Revoluciones Por Minuto (RPM) y las condiciones de corte mencionadas anteriormente, el sistema cuenta con características especialmente diseñadas para facilitar un cambio rápido de modelo. Un ejemplo destacado es el sistema de sujeción especial incorporado en la nariz del husillo, ilustrado en la figura 13. Este sistema permite una remoción o cambio acelerado de la herramienta utilizando un torquímetro equipado con una punta de llave tipo Allen. La ventaja principal de este sistema es que permite aplicar una fuerza específica, asegurando así la rigidez necesaria en el clamp (tornillo mecánico) del adaptador que sujeta la herramienta. Este diseño optimiza tanto el tiempo como la precisión en el cambio de herramientas.

En cuanto a los adaptadores para portar herramientas, estos son dispositivos cruciales que proporcionan una conexión estándar entre la herramienta de corte y el husillo de la máquina, facilitando así la rotación efectiva de la herramienta. Existen varios tipos de portaherramientas utilizados en estas máquinas de transferencia rotativa, cada uno con sus características específicas:

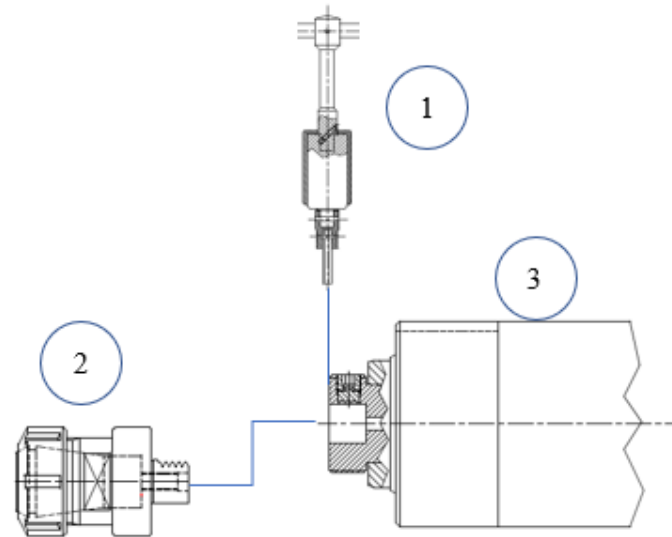


Figura 13. Sistema de cambio rápido de herramienta. 1) torque, 2) adaptador, 3) nariz de husillo.

1. Con tuerca roscada

Estos adaptadores se acoplan al husillo mediante el roscado de una tuerca, permitiendo una sujeción segura entre el husillo y el adaptador.

2. Con vástago estriado

En este tipo de adaptadores, el acoplamiento al husillo se realiza mediante un opresor estriado que presiona y sujeta firmemente el vástago del adaptador en el interior del husillo.

3. HSK

Este tipo de adaptadores se acoplan al husillo utilizando la forma cónica del adaptador. La herramienta se fija con un seguro de medio giro que funciona como clamp entre el husillo y el adaptador, proporcionando una conexión rápida y segura.

En complemento con el sistema de sujeción anteriormente descrito, los adaptadores del tipo #3 ofrecen una solución ergonómica y de fácil manejo en el proceso de maquinado. Este tipo de adaptador es particularmente delicado, ya que aplica un torque menor en comparación con otros métodos, lo que requiere un manejo cuidadoso durante su uso. No obstante, una de sus ventajas más significativas es que no necesitan de un torquímetro especializado para su ajuste o cambio, simplificando así las operaciones de mantenimiento y configuración.

La facilidad de uso de estos adaptadores tipo #3 los hace ideales en situaciones donde se requieren cambios rápidos y eficientes, sin sacrificar la precisión y seguridad en el proceso de sujeción de la herramienta. Además, la menor necesidad de herramientas especializadas para su manejo contribuye a una mayor eficiencia en el flujo de trabajo y reduce el tiempo de inactividad de la máquina.

Los componentes específicos de este sistema de sujeción, así como su disposición y funcionamiento, se ilustran detalladamente en la figura 14. Esta visualización proporciona una comprensión clara de

cómo se integran estos adaptadores en el conjunto general de la máquina, destacando su diseño ergonómico y su fácil integración en el proceso de maquinado.

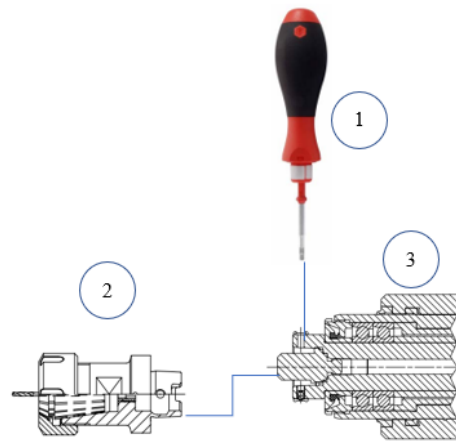
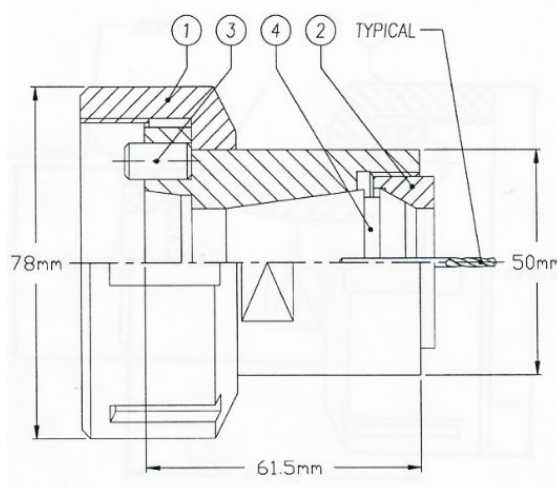


Figura 14. Sistema de cambio rápido de herramienta tipo 3. a) atornillador, b) adaptador, c) nariz de husillo, máquina

El sistema de cambio lento en las máquinas de maquinado utiliza un método de sujeción que implica un roscado entre el adaptador portaherramientas y la nariz del husillo. Aunque esta adaptación es efectiva para asegurar la herramienta durante el proceso de maquinado, presenta ciertas limitaciones en términos de ergonomía y eficiencia. El método de roscado requiere una manipulación más manual y cuidadosa, lo que puede resultar menos ergonómico para el operador al realizar el cambio de la herramienta.

Además, esta menor ergonomía en el proceso de cambio de herramientas conlleva un incremento en el tiempo requerido para completar el cambio de modelo. Esto se debe a que el proceso de roscado y ajuste manual es más lento en comparación con sistemas de sujeción más rápidos y automatizados.

Esta dinámica del sistema de cambio lento y cómo afecta el proceso de cambio de herramienta en la máquina se ilustra en la figura 15. Esta figura proporciona una representación visual de la sujeción mediante roscado y destaca cómo este método influye en el tiempo total necesario para realizar cambios en el modelo de maquinado.



- 1.-Tuerca (Nut)
- 2.-Tuerca de sujeción de boquilla (Clamp nut)
- 3.-Perno de localización (Dowell pin)
- 4.-Boquilla de sujeción de herramienta (Collet)

Figura 15. Sistema de cambio lento de herramienta roscada.

En las máquinas de transferencia rotativa de corte de viruta, la estandarización de las longitudes de las herramientas se realiza mediante un equipo de medición especializado. Este proceso, ilustrado en la figura 16, implica medir la herramienta acoplada al adaptador para establecer una longitud estandarizada, agilizando el proceso de pre-establecimiento.



Figura 16. Equipo de ajuste y medición horizontal por visión.

La selección de herramientas se basa en las especificaciones del producto a fabricar, y la estandarización busca reducir el tiempo de configuración de la máquina. Además, se minimiza la necesidad de reajustes frecuentes, mejorando la eficiencia y la vida útil de las herramientas ver figuras 17 y 18.

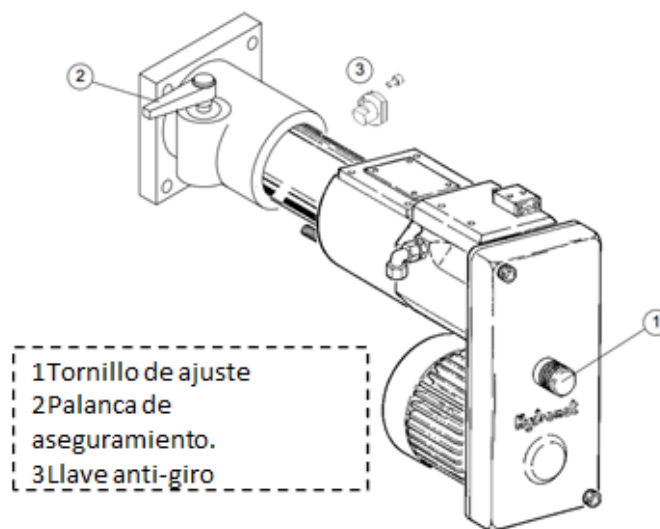


Figura 17. Husillo estándar para máquinas de transferencia rotativa de corte de viruta.



Figura 18. Husillo estándar para máquina de transferencia rotativa de corte viruta.

El procedimiento estándar abarca tanto cambios lentos como rápidos en la máquina, definiendo la longitud total de la herramienta a partir de la suma de sus componentes. Este enfoque unificado permite un manejo más eficiente de las herramientas en la producción de diversos modelos o números de parte.

### III. RESULTADOS

La implementación meticulosa de la metodología Single Minute Exchange of Die (SMED) en las máquinas de transferencia rotativa de corte de viruta ha revelado desafíos significativos y oportunidades en el proceso de cambio de modelo. Integrando enfoques de lean Manufacturing como SMED, se ha logrado optimizar la planificación de los equipos de producción y mejorar la eficiencia operativa.

#### Identificación Efectiva de Actividades

SMED se ha destacado por su capacidad para diferenciar y gestionar actividades internas y externas durante los cambios de modelo, lo que facilita una evaluación detallada de los procesos y revela áreas clave para mejoras significativas. Un cambio notable en las actividades internas a externas es el pre-establecimiento de herramientas de corte antes de detener la máquina para el cambio de modelo, una práctica que no estaba estandarizada en este caso práctico.

Para resolver esta problemática, se estableció un proceso estandarizado de cambio de herramientas con sus adaptadores. Esto incluyó la revisión del herramental, como los adaptadores que sujetan la herramienta de corte, y la compra de estos adaptadores para el cambio de modelo en la máquina seleccionada, así como la adquisición de carros de almacenamiento para facilitar el acomodo y traslado de las herramientas.

### *Importancia de las Herramientas de Registro*

El uso de herramientas específicas como el "Check List de cambio de modelo" ha estructurado eficazmente el proceso de cambio, permitiendo un seguimiento detallado y la mejora continua del flujo de proceso y los subprocesos involucrados.

### *Desafío en Medición de Tiempos*

Con la implementación de un formato para registrar los cambios de modelo, se identificó un desafío en la delimitación y clasificación precisa de los tiempos muertos. Abordar esta área es esencial para obtener datos más precisos que impulsen mejoras efectivas.

### *Diversidad en Cambios de Modelo*

Se identificaron diferentes niveles de cambios (menor, mediano y mayor), cada uno con sus propios desafíos y consideraciones. Esto subraya la necesidad de adaptar las estrategias y soluciones según el tipo de cambio.

### *Replicabilidad de Soluciones*

Tras identificar mejoras efectivas en la máquina más afectada, existe una oportunidad para replicar estas soluciones en otras máquinas y contextos, extendiendo los beneficios de SMED a lo largo de la planta.

### *Evolución y Actualización Constante*

Es crucial destacar que algunas máquinas no se incluyeron en este proceso debido a actualizaciones externas, lo que refuerza la necesidad de una evolución y adaptación constantes en el mundo de la manufactura para asegurar que las prácticas permanezcan actualizadas y relevantes.

## IV. CONCLUSION

La estandarización y precisión en la configuración de las herramientas de maquinado son fundamentales, especialmente en el caso de máquina de transferencia rotativa para corte de viruta. Estos aspectos no solo incrementan la eficiencia del proceso, sino que también prolongan la vida útil de las herramientas al minimizar daños innecesarios. La implementación de tecnologías avanzadas, como los sistemas de medición por visión, y la adopción de prácticas de pre- configuración, permiten establecer dimensiones estandarizadas para las herramientas. Esto facilita su adaptabilidad y agiliza los tiempos de maquinado al cambiar entre diferentes modelos o números de parte.

En cualquier sector industrial, ya sea artesanal o altamente tecnológico, la excelencia se encuentra en los detalles. En este sentido, la estandarización de herramientas, ejemplificada por la máquina de transferencia rotativa de corte de viruta, subraya que la excelencia operativa se logra mediante la precisión, la anticipación y la flexibilidad. La inversión en equipos avanzados y la adopción de prácticas estandarizadas no solo mejoran el rendimiento actual, sino que también preparan a las operaciones para enfrentar desafíos futuros más complejos. Esto resalta que, en un entorno donde la producción en masa a



menudo compromete la calidad, son las prácticas meticulosas las que distinguen a las organizaciones líderes.

La adopción de estas técnicas marca un avance significativo para cualquier planta de producción. No solo se optimiza el tiempo, maximizando la eficiencia productiva, sino que también se logra una adaptabilidad más rápida a cambios en la demanda, como lo demuestra la reducción en los tamaños de los lotes de producción (Sabadka et al., 2017). Además, la estandarización de procedimientos garantiza la calidad del producto, la seguridad en el trabajo y el bienestar de los empleados, posicionando a la empresa como un competidor vanguardista en el mercado (Concepción et al., n.d.).

Finalmente, la optimización en los entornos productivos es crucial tanto en la industria manufacturera como en el sector de servicios para un uso eficiente de los recursos. Al tratar los tiempos de preparación y los costos de manera independiente de los tiempos de procesamiento, se facilita la realización de operaciones en paralelo, incrementando la eficiencia general. En el marco de sistemas de gestión contemporáneos como Justo a Tiempo (JIT), tecnología de producción optimizada (OPT), tecnología de grupo (GT), y fabricación celular (CM), técnicas que convierten tiempos no productivos en productivos y reducen los tamaños de lote son herramientas valiosas para mantener la competitividad y maximizar la productividad (Allahverdi & Soroush, 2008).

## REFERENCIAS

- INEGI. "Producto Interno Bruto por Entidad Federativa 2019." [En línea]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2020/OtrTemEcon/PIBEntFed2019.pdf>. Consultado en octubre de 2022. Publicado en 2020.
- Afonso, M., Gabriel, A. T., & Godina, R. (2022). Proposal of an innovative ergonomic SMED model in an automotive steel springs industrial unit. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.aime.2022.100075>
- Ahmad, R., & Soberi, M. S. F. (2018). Changeover process improvement based on modified SMED method and other process improvement tools application: an improvement project of 5-axis CNC machine operation in advanced composite manufacturing industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(1–4), 433–450. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0827-7>
- Allahverdi, A., & Soroush, H. M. (2008). The significance of reducing setup times/setup costs. *European Journal of Operational Research*, 187(3), 978–984. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.09.010>
- Amrina, U., Junaedi, D., & Prasetyo, E. (2018). Setup Reduction in Injection Moulding Machine Type JT220RAD by Applying Single Minutes Exchange of Die (SMED). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 453(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/453/1/012033>
- Antosz, K., & Pacana, A. (2018). Comparative analysis of the implementation of the SMED method on selected production stands. *Tehnicki Vjesnik*, 25, 276–282. <https://doi.org/10.17559/TV-20160411095705>
- Azizi, A., & Manoharan, T. a/p. (2015). Designing a Future Value Stream Mapping to Reduce Lead Time Using SMED-A Case Study. *Procedia Manufacturing*, 2, 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.027>
- Concepción, M., Morales, F., Javier López Benavides, F., Campos, D. A., & Gaytán, C. (n.d.). Reducción de tiempo de ciclo del área de corte mediante la aplicación de la técnica smed. *Lean manufacturing Conceptos, técnicas e implantación medio ambiente industria y energía*. (n.d.). PIBEntFed2019. (n.d.).
- Sabadka, D., Molnar, V., & Fedorko, G. (2017). The Use of Lean Manufacturing Techniques – SMED Analysis to Optimization of the Production Process. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 11(3), 187–195. <https://doi.org/10.12913/22998624/76067>

Sarria Yépez, M. P., Fonseca Villamarín, G. A., & Bocanegra-Herrera, C. C. (2017). Modelo metodológico de implementación de lean manufacturing. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 83, 51–71. <https://doi.org/10.21158/01208160.n83.2017.1825>