

Estrategias integradas para la fabricación de refacciones: Un enfoque de tecnología, economía y gestión a través de los cuatro pilares de la manufactura esbelta

Villa Fajardo, Raúl Alejandro¹, Perez Bustamante, Raúl², y García Herrera, John Edison¹

¹ CONAHCYT- Posgrado CIATEQ A.C. San Luis Potosí, Eje 126 225, Zona Industrial San Luis, 78395 San Luis, S.L.P., Mexico
raul_villa7@yahoo.com, john.garcia@ciateq.mx

² CONAHCYT-Corporacion Mexicana de Investigación en Materiales, Eje 126 225, Zona Industrial San Luis, 78395 San Luis, S.L.P., Mexico raul.perez@cominsa.com

Resumen

En este trabajo se aborda la relevancia histórica y contemporánea de la manufactura de bienes, su conexión con la tecnología y la economía, y define el término "manufactura" desde perspectivas; en donde su función central es la conversión de materias primas en productos de valor. Estos elementos pueden ser visualizados a través del concepto de "caja negra", que describe los sistemas a partir de sus entradas y salidas, sin considerar los procesos internos. Dada la importancia del concepto de la manufactura a través de estos puntos, se describen sus etapas, haciendo hincapié en tecnologías como CAD/CAM, metodologías como Lean Manufacturing para eliminar desperdicios y el Mantenimiento Productivo Total (TPM) con un enfoque económico y productivo; enfocados específicamente en las máquinas y herramientas, como los centros de maquinado y las máquinas de electroerosión en la fabricación moderna. Con el entendimiento y aplicación de los diferentes conceptos, la implementación del proyecto se puede abordar a través de varios rubros fundamentales, encaminados a la mejora de la productividad en la industria. Dicha implementación se divide en cuatro pilares: Estructura, Infraestructura, Métodos y Gestión para Kaizen; describiendo en detalle cada uno de estos pilares, desde la definición de roles y responsabilidades hasta la implementación de metodologías como TPM y Lean. Los resultados de este análisis muestran que los indicadores de eficiencia mejoraron en un 27.4% y también se obtienen beneficios económicos, generando ahorros a la industria mediante la implementación de una estrategia integral, lo cual proporciona una guía sólida para la implementación exitosa de proyectos de manufactura.

Palabras clave—Factor Humano, Manufactura, Lean Manufacturing, Refaccionamiento.

Abstract

This work addresses the historical and contemporary relevance of manufacturing goods, its connection with technology and the economy, and defines the term "manufacturing" from various perspectives, where its central function is the conversion of raw materials into valuable products. These elements can be visualized through the concept of a "black box," which describes systems based on their inputs and outputs, without considering internal processes. Given the importance of the concept of manufacturing through these points, the stages are described, with an emphasis on technologies such as CAD/CAM, methodologies like Lean Manufacturing to eliminate waste, and Total Productive Maintenance (TPM) with an economic and productive focus, specifically targeting machines and tools, such as machining centers and electric discharge machines in modern manufacturing. With the understanding and application of different concepts, the project's implementation can be approached through several fundamental areas aimed at improving productivity in the industry. This implementation is divided into four pillars: Structure, Infrastructure, Methods, and Kaizen Management; providing detailed descriptions of each of these pillars, from defining roles and responsibilities to the implementation of methodologies like TPM and Lean. The results of this analysis show that efficiency indicators improved by 27.4%, and economic benefits were also obtained, resulting in cost savings for the industry through the implementation of a comprehensive strategy, providing a solid guide for the successful implementation of manufacturing projects.

Keywords— Human Factor, Manufacturing, Lean Manufacturing, Refurbishment

I. INTRODUCCIÓN

La fabricación de bienes ha sido una actividad fundamental en las sociedades humanas desde tiempos antiguos, incluso antes de la aparición de la historia escrita. En la actualidad, se utiliza el término "manufactura" para referirse a esta actividad. La industria manufacturera desempeña un papel crucial en muchas naciones desarrolladas debido a razones técnicas y económicas. La tecnología, por su parte, se define como la aplicación de los conocimientos científicos para satisfacer las necesidades y deseos de la sociedad y sus miembros. La tecnología tiene una influencia directa e indirecta en nuestra

vida cotidiana en numerosas formas. [1]

La manufactura se puede definir de dos maneras: tecnológica y económica. En la Fig. 1, se representan las dos maneras de forma esquemática. Desde el punto de vista tecnológico, implica aplicar procesos físicos y químicos para modificar materiales y fabricar productos. Desde el punto de vista económico, implica transformar materiales en artículos de mayor valor mediante procesamiento o ensamblaje. En ambos casos, la manufactura agrega valor al material y lo acerca al estado final deseado [1] Un modelo de caja negra, por definición, es una representación matemática ajustada de un sistema sin tener en cuenta los procesos internos.

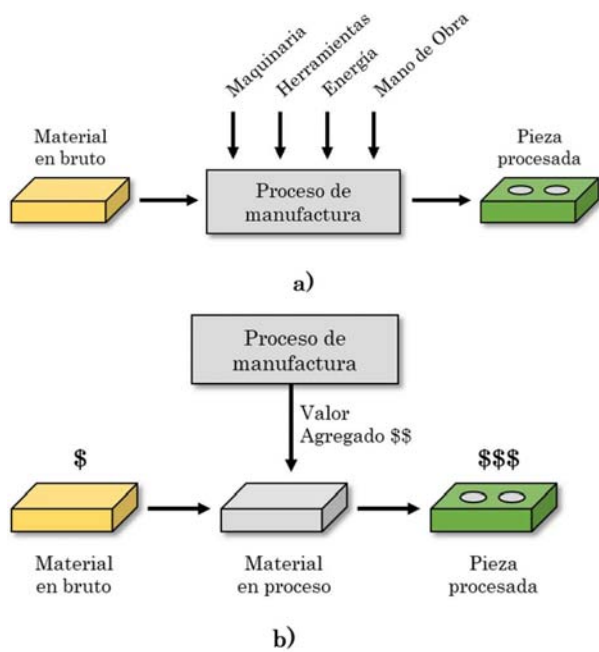


Fig. 1. En la ilustración se presentan los procesos de manufactura en (a) de manera técnica convirtiendo una materia prima en una pieza procesada y en (b) el proceso de manufactura en concepto económico, de igual forma con una materia prima, pero agregando valor a la pieza generando un valor monetario a la pieza procesada. (Groover, 2020)

Las características de este tipo de modelo generalmente se desarrollan a partir de la observación de las entradas y salidas, sin identificar ni simular los procesos involucrados. Por lo general, se basan en métodos estadísticos, como la regresión. La caja negra se utiliza para enfocarse en las interacciones y relaciones entre el sistema o componente y su entorno sin preocuparse por cómo se logran esas interacciones de manera interna [2]

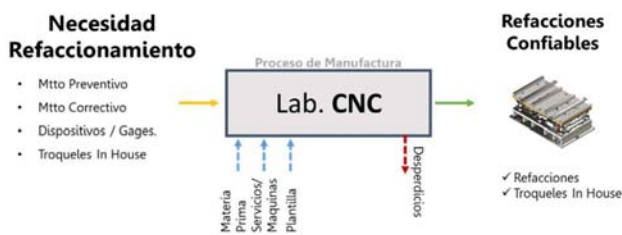


Fig. 2. Descripción del proyecto ejemplificado en concepto de caja negra con entradas y salidas, elaboración propia. Elaboración Propia.

El proceso de manufactura implica múltiples etapas, desde el diseño del producto como la fabricación de matricería las cuales cuentan con una descripción detallada de fabricación desde las dimensiones, materiales, recubrimientos y procesos específicos, hasta la inspección de calidad donde se evalúan las especificaciones deseadas evaluando que las matrices cumplan con la calidad y la implementación donde se instalan las refacciones y se evalúa su desempeño. La implementación de software, como CAD/CAM, es esencial en este proceso,

permitiendo la concepción y fabricación de productos de manera eficiente [3]

Como se ejemplifica en la caja negra Fig. 2, el proceso de fabricación de refacciones de matricería para troqueles implica procesos de manufactura los cuales en el proyecto se analizan en ambos aspectos (tecnológicos y económicos), para el aspecto tecnológico se implementan tecnologías de manufactura desde el uso de máquinas convencionales (rectificadora, sierra, fresadora) así como avanzadas como la implementación de máquinas de control numérico y electroerosión. En el aspecto económico, la adquisición de insumos, eficiencia (lean manufacturing), la eficiencia de máquinas (TPM), el factor humano y la calidad son fundamentales para lograr beneficios económicos para la empresa.

A. Máquinas y Herramientas

Las máquinas herramientas son dispositivos impulsados por energía distinta al trabajo manual, eliminando la intervención directa humana en la formación de herramientas. Su origen data de alrededor de 1751 con el primer torno mecánico. Aunque se usaron diversas fuentes de energía, la Revolución Industrial y la máquina de vapor marcaron su evolución. Hoy en día, funcionan con energía eléctrica y han sido vitales en la industrialización. Mejoras como hidráulica, electrónica y control numérico han llevado a mayor precisión y eficiencia. Las máquinas herramientas tienen un papel clave en la fabricación moderna, desde máquinas básicas hasta centros de mecanizado avanzados [4]

B. Centros de Maquinado

Los centros de maquinado son una alternativa avanzada al maquinado tradicional, permitiendo operaciones versátiles en diversas superficies de una pieza sin retirarla. Estas máquinas controladas por computadora hacen que las herramientas de corte se muevan alrededor de la pieza, facilitando el proceso. También emplean herramientas y dispositivos para fabricar componentes complejos. El desarrollo de los centros de maquinado se relaciona con la automatización y el control computarizado de las máquinas herramienta [3]

C. Máquinas de Electroerosión

El maquinado por descarga eléctrica o electroerosión (EDM) erosiona metales mediante chispas, una tecnología nacida en los años 40 que ha evolucionado para ser ampliamente usada en la fabricación. Al aplicar corriente a dos alambres conductores, se crea un arco que erosiona el metal, resultando en un cráter. EDM tiene aplicaciones notables en la industria manufacturera [3]

D. Eficiencia Operativa

La productividad no se basa únicamente en la cantidad de piezas fabricadas, sino en cómo se han utilizado eficientemente los recursos para lograr niveles de producción específicos. Aumentar la productividad tiene varias ventajas para una empresa, como mayores producciones, menores costos de producción, mejor calidad de los productos, precios más bajos en el mercado, mayor demanda, mayores ganancias, expansión del negocio, inversión en tecnología e investigación y

desarrollo, y diversificación de los negocios. Estas mejoras permiten a la empresa ser más competitiva y alcanzar un crecimiento económico sólido. [5]

E. *Lean Manufacturing*

El enfoque Lean combina técnicas para eliminar los siete tipos de desperdicio, mejorando la eficiencia y flexibilidad de la empresa. Se basa en herramientas como mejora continua (kaizen), análisis "5 por qué" y prevención de errores (poka-yoke) para identificar y eliminar constantemente el desperdicio, mejorar la calidad y reducir costos y tiempos de producción. Similar a otros enfoques de mejora, Lean busca hacer la empresa más ágil y receptiva [6]

La identificación y eliminación del desperdicio en el flujo de valor es el tema central de la filosofía de Lean Manufacturing. El Lean manufacturing es un proceso dinámico y en constante mejora que depende del entendimiento y la participación de todos los empleados de la empresa. Para una implementación exitosa, es necesario capacitar a todos los empleados para que identifiquen y eliminen el desperdicio en su trabajo. El desperdicio existe en todos los trabajos y en todos los niveles de la organización. La efectividad es el resultado de la integración de: hombre, método, material y máquina en el lugar de trabajo. [7]

De igual forma Lean Manufacturing es un enfoque sistemático que busca identificar y eliminar el desperdicio en las operaciones a través de la mejora continua. Su objetivo es reducir los costos operativos del sistema y satisfacer las necesidades del cliente al proporcionar el máximo valor al precio más bajo posible. Esto se logra optimizando los flujos de trabajo, eliminando actividades innecesarias, reduciendo los tiempos de espera y los inventarios, y promoviendo la participación de todos los empleados en la identificación de oportunidades de mejora. Al implementar Lean Manufacturing, las empresas pueden lograr una mayor eficiencia, productividad y calidad, lo que les permite ser más competitivas en el mercado. [8]

F. *Mantenimiento Productivo Total*

Busca empoderar a los empleados para mantener de manera autónoma el equipo de producción. Sus estrategias abarcan: diseño de productos para máquinas existentes, herramientas eficientes, capacitación de trabajadores, inversión en máquinas productivas y planes de mantenimiento preventivo [7]

G. *Cadena de Suministro*

Se puede entender como cadena de suministro a una red de materiales, información y enlaces de procesamiento de servicios con las características de transformación, proveeduría y demanda [9]

Los cinco pilares clave del enfoque TPM son: mejorar la preparación y confiabilidad del equipo, compartir responsabilidades de mantenimiento con operadores, fomentar el trabajo en equipo, elevar habilidades de operadores y mecánicos, y optimizar diseño, producción e instalación del equipo para rendimiento óptimo [10]

En un contexto global en el que la manufactura juega un papel crucial en el desarrollo económico de las naciones, existe

la necesidad apremiante de mejorar la eficiencia y rentabilidad de los procesos de fabricación. La manufactura de refacciones de matricería para troqueles representa una actividad clave en este escenario, y su optimización se convierte en un desafío estratégico para las empresas involucradas. Sin embargo, la falta de un enfoque integral donde interaccionen aspectos tecnológicos y económicos en la mejora de estos procesos ha llevado a la falta de eficiencia y rentabilidad en la industria manufacturera.

Para el desarrollo de esta investigación se plantea que la optimización integral de los procesos de manufactura de refacciones de matricería para troqueles, donde se tomen en cuenta tanto los aspectos tecnológicos como los económicos, puede resultar en una mejora significativa de la eficiencia y la rentabilidad de la empresa, aunado a lo anterior es crucial la respuesta a las siguientes preguntas:

¿Cómo se pueden integrar de manera efectiva las tecnologías de manufactura avanzadas en el proceso de fabricación de refacciones de matricería para troqueles?

¿Cuál es el impacto del factor humano en la calidad y eficiencia de la manufactura de refacciones de matricería?

¿Cómo se puede implementar un enfoque de "lean manufacturing" para mejorar la eficiencia y reducir los costos en la manufactura de refacciones de matricería?

¿Cuáles son los métodos de control de calidad más efectivos para garantizar que las especificaciones deseadas se cumplan en el proceso de manufactura de refacciones de matricería?

Con el planteamiento de estas preguntas de investigación se desarrolla el proyecto que aborda la necesidad de optimizar los procesos de manufactura en busca de una mayor eficiencia y beneficios económicos sostenibles en las empresas dedicadas a esta actividad.

II. MÉTODOS

La implementación de un proceso de manufactura conlleva el desarrollo de una estrategia que no omita ninguno de los factores tanto en aspectos tecnológicos como económicos, para ello el desarrollo del proyecto se divide en 4 pilares fundamentales, los cuales son:

A. *Pilar 1: Estructura*

En la parte estructural del proyecto se definen:

a) Organigrama del proceso, donde se definen posiciones y jerarquías. En esta parte se definió a un responsable del departamento como líder de coordinar esfuerzos y manejos de presupuestos, se crearon posiciones de acuerdo a tramos de control y conocimientos necesarios, como procesista, posición encargada de dar seguimiento a las necesidades de refacciones por parte de talleres de herramientas, técnicos EDM (Electrical Discharge Machining) enfocados en maquinaria de electroerosión, técnicos CNC (Control Numérico Computarizado) enfocados en programación CAM en centros de maquinado.

b) Roles y responsabilidades, aclarando lo que cada individuo del proceso es responsable de hacer y el alcance que tiene su posición, donde se implementaron indicadores de eficiencia que cada técnico debe monitorear (Tiempo Muerto

medido en minutos, tiempo que la maquina no produce, porcentaje de Cumplimiento al Mantenimiento Autónomo de su maquinaria conforme a los estándares de TPM y Yield enfocado en la calidad de las piezas producidas, comparando con especificaciones de plano).

c) Capacitación, como tal, el tema estructural habla del factor humano que implica la capacitación para cada una de las posiciones definidas, las cuales deben de asegurar que cumplan con los conocimientos para desempeñar sus labores. Para ello se generó un manual de capacitación donde se explica el proceso de fabricación de refacciones, el uso de softwares CAD y CAM, así como las propiedades de los materiales a trabajar (aceros, cobre, aluminio, aleaciones), el uso de maquinaria y la selección correcta de las herramientas de corte (buriles, cortadores, machuelos, brocas, insertos).

d) La percepción económica, la clasificación de puestos, rangos de sueldo y prestaciones, es fundamental en la competitividad esperada del proceso, una percepción justa y clara genera un entorno de desarrollo interno y competitividad, para ello se generaron rangos de sueldo definidos por los conocimientos, habilidades y antigüedad.

B. Pilar 2: Infraestructura

La infraestructura en la estrategia de fabricación de refacciones responde la pregunta ¿con qué?, la cual se refiere: con qué materiales, herramientas y máquinas se va a agregar

valor, generando una pieza de calidad. Un punto importante para destacar es que también involucra la parte de diseño y manufactura asistidos por computadora (CAD y CAM) que son parte crucial en la operación de máquinas y en el diseño de las piezas. Como se muestra en la Fig. 3, se representa el Value Stream Mapping (VSM) del proceso de fabricación de refacciones, se presenta a grandes rasgos las maquinas involucradas y la secuencia a seguir, como se observa el VSM inicia con la necesidad de producción de una refacción, la necesidad se puede generar a partir de 4 tipos de requerimiento:

- 1) **Mantenimiento Preventivo:** Se solicita una refacción detectada por el personal en un mantenimiento preventivo, esto en base a desgaste, o tiempo de vida próximo a caducar.
- 2) **Mantenimiento Correctivo:** se solicita una refacción por un evento de falla imprevisto, como fractura de matriz o despostillo.
- 3) **Refacción crítica:** se solicita una refacción con prioridad alta debido al impacto que tienen ante la producción, estas refacciones están ligadas a herramientas (troqueles) de alto volumen, de procesos de alta gama y procesos complejos.
- 4) **Cambios de Ingeniería:** son refacciones programadas con tiempos largos de implementación, se refieren a matrices que son parte de un proyecto ya sea de ahorro, seguridad, estandarización o nuevos productos.

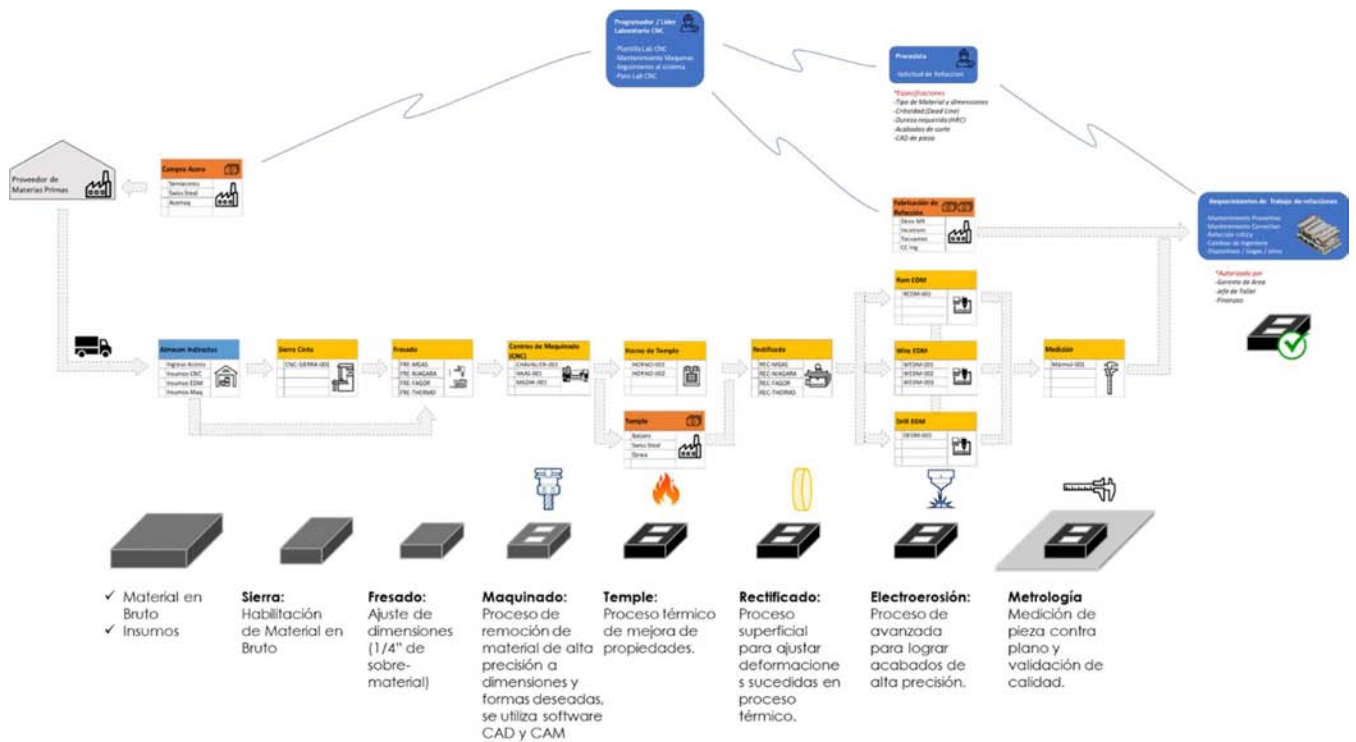


Fig. 3. Mapa de flujo de valor de un proceso de fabricación de refacciones. Elaboración propia.

Toda solicitud de refacciones requiere una aprobación de gerencia de herramientas y del departamento de finanzas, con el fin de tener claras las prioridades de fabricación, así como contar con el presupuesto necesario para poder fabricar. Una vez autorizado el presupuesto, se procede a generar las órdenes de compra respectivas a los diferentes proveedores, esto implica materia prima (aceros), insumos de máquinas; los convencionales (brocas, cortadores, rimas, machuelos, entre otros), para máquinas CNC (cortadores, boquillas, refrigerante) y para máquinas EDM (hilo de cobre, electrodos, boquillas).

Una vez que se cuenta con los materiales e insumos, se procede a fabricar la refacción, las maquinas involucradas son:

- a) Sierra cinta, donde se habilita la materia prima.
- b) Fresadora, donde se dimensiona la pieza a fabricar dejando $\frac{1}{4}$ in de sobre material medida estándar para posterior pasar a un proceso de maquinado.
- c) Maquinado CNC, proceso de remoción de material de alta precisión en el cual con ayuda de software CAD y CAM se maquina la pieza dando la forma deseada.
- d) Tratamiento térmico, proceso donde se da la dureza requerida dependiendo del trabajo que vaya a desempeñar la pieza, de manera general se utiliza durezas de 62 HRC, también se aplican procesos de recubrimiento para mejorar propiedades específicas de las matrices.
- e) Rectificado, proceso superficial para ajustar dimensiones de la pieza debido a las deformaciones que llegan a sufrir por los tratamientos térmicos aplicados.
- f) Procesos de electroerosión, proceso de avanzada para dar dimensiones de alta precisión de las refacciones, en el proyecto se integraron tres procesos de electroerosión, corte por hilo, electrodos de forma y barrenado por medio de capilares, este último como complemento del corte por hilo generando los puntos de inicio de corte por hilo en material endurecido.
- g) Metrología, la parte final del proceso donde se asegura mediante equipos como vernier, durómetro, micrómetro, comparador óptico, las dimensiones finales de la pieza fabricada contra plano, asegurando que dimensiones, configuración y durezas sean las correctas.

C. *Pilar 3: Métodos*

La implementación de métodos que permitan operar de manera clara y eficiente es sumamente importante para poder generar un proceso rentable, el tener procedimientos que clarifiquen y contemplen los pasos para fabricar refacciones. Cada paso debe contar con una explicación clara de la actividad, los principales criterios de calidad y seguridad, así como conocimientos necesarios, el responsables de la actividad (puesto), y una imagen para mayor entendimiento; los procedimientos integrados al proceso van de lo general a lo específico, cada paso debe contener su propio desglose de trabajo estándar para que operación por operación sean completamente entendibles, parte importante de los métodos, es generarlos mediante equipos multidisciplinarios que involucran participantes de todos los niveles del departamento, para no obviar pasos o criterios, importante es generarlas en un entorno amigable libre de ruidos y paisajes distractores. Como se

muestra en la Fig. 4, el proceso repite para cada una de las matrices a fabricar por lo cual también se implementó:

1) Lista de puntos a revisar del proceso de refaccionamiento el cual es llevado por el responsable de la fabricación de la pieza (procesista), que consta de un seguimiento de los 11 pasos validando el estado durante la fabricación de cada refacción.

2) Una bitácora de estado durante la fabricación de la refacción, la cual es llenada por el personal del laboratorio (operadores de máquinas CNC y EDM) en el cual de manera diaria documentan las refacciones procesadas y sus comentarios.

Como tal el pilar 3 (métodos), responde a la pregunta de “¿cómo?”, asegurando que todos los involucrados cumplan la función requerida.

D. *Pilar 4: Gestión para Kaizen*

El cuarto pilar en la implementación del proyecto buscando la sostenibilidad del proceso, en él se ven conceptos como: TPM en donde se asegura el mantenimiento preventivo a máquinas y equipos, buscando que siempre estén operables. En el proyecto se generaron los contratos de póliza para 3 equipos CNC, 4 equipos EDM y un compresor de aire, los cuales son equipos críticos en la fabricación de las refacciones, a su vez se implementó el mantenimiento autónomo de todos los equipos, de manera que los técnicos (operadores CNC y EDM) aseguren de manera preventiva y correctiva el buen funcionamiento de los equipos revisando niveles de aceite, reportando fugas y cambiando filtros, todo mediante un carnet de verificación de equipos. También como parte de una mejora continua se implementó el estándar de 5's (separar, ordenar, limpiar, estandarizar y disciplina) definiendo los estándares correctos de ubicaciones, roles de limpieza y reporte de anomalías. Finalmente, en este pilar y acoplando los sistemas macros de la compañía se adaptó el sistema de alto desempeño, dando seguimiento a proyectos de mejora, activando las sesiones de trabajo semanales y la participación del equipo.

Mediante estos 4 pilares se concentra la creación de un proceso de manufactura que involucra aspectos tecnológicos y económicos, todo ello en busca de generar valor para la compañía.

III. RESULTADOS

En el mes de enero del año 2023 se inició con el monitoreo de indicadores para el proceso de manufactura de fabricación de refacciones de matricería, al cual se le dio por nombre Laboratorio CNC, para ello, se implementaron reportes de producción los cuales mediante un catálogo de fallas y tiempos, se obtiene la eficiencia global del equipo (OEE), en la Tabla I, se observan los meses de febrero, marzo y abril del 2023, donde se observa la implementación de la maquina CNC marca Chevalier modelo QP2040, que en arranque tuvo un OEE de 28.42% para el mes de Marzo y aumento a 55.82%. Actualmente se tiene esta máquina en porcentajes de 80% a 85%.

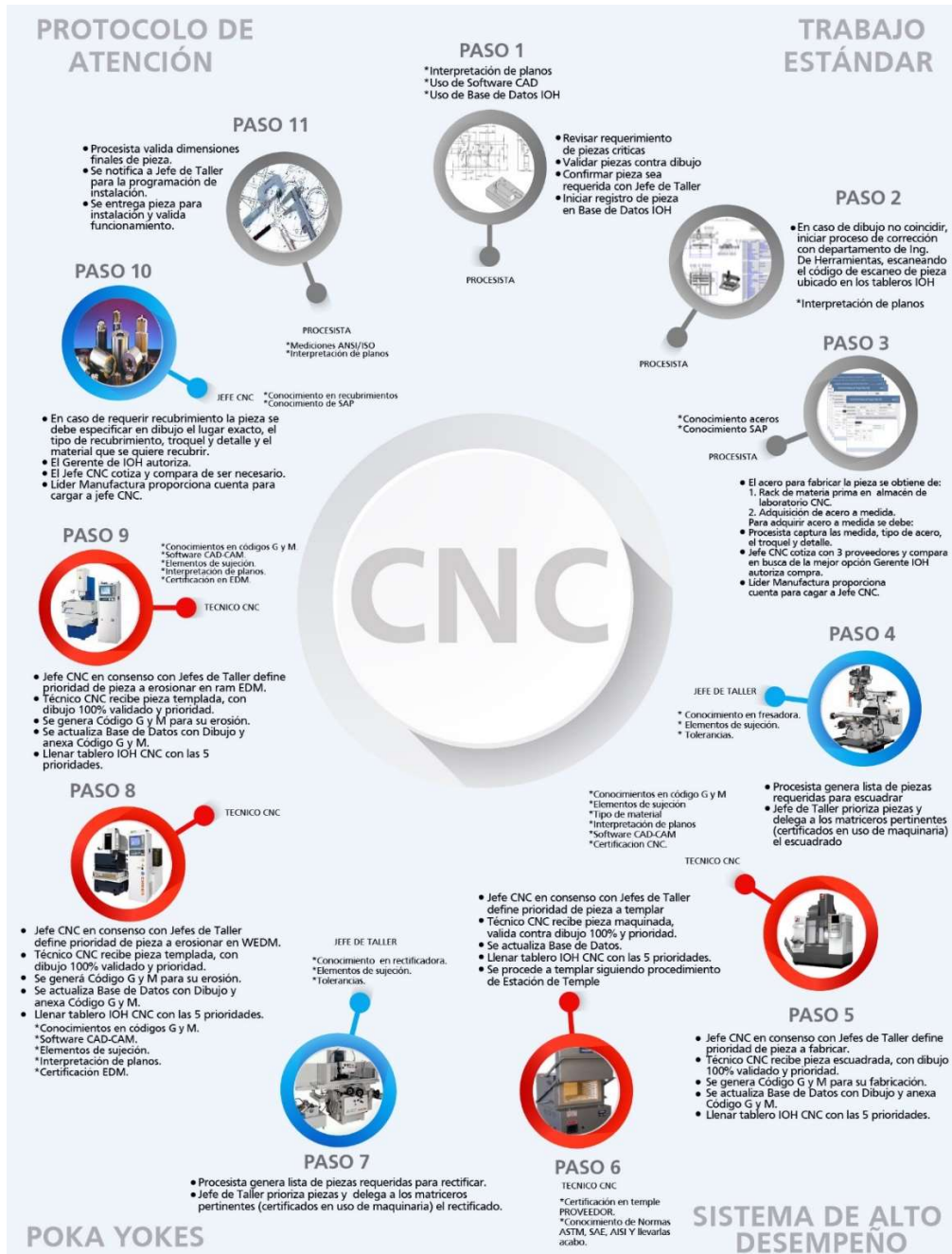


Fig. 4. Procedimiento de fabricación de refacciones, consta de 11 pasos que especifican responsable, actividades generales y criterios importantes que no se deben omitir. Elaboración Propia.

TABLA I

Tabla de OEE calculado por equipo de manera mensual para los meses de Febrero, Marzo y Abril del 2023. Elaboración Propia.

Maquinas.	Feb	Mar	Abr	Total
Hass	74.41%	61.19%	91.06%	73.92%
Chmer#4	64.94%	67.05%	87.78%	71.17%
Chmer#3	66.82%	63.07%	80.88%	69.37%
MazaK	88.13%	65.12%	36.49%	68.85%
Chmer#2	42.85%	70.60%	91.81%	65.86%
Chmer#1	58.30%	59.72%	40.43%	53.67%
Chevalier		28.42%	55.82%	43.02%
Barrenadora	36.05%	16.94%	29.18%	29.23%
Total	62.92%	55.75%	64.43%	61.13%

La medición del indicador de eficiencia nos ayuda a visualizar el rendimiento de los equipos y las áreas de oportunidad.

Por otro lado, el resultado esperado es un retorno de inversión a corto plazo, para ello también se monitoreo la cantidad de piezas producidas, en la Tabla II, se observa el total de piezas producidas por máquina, así como su eficiencia y utilización, en los meses de febrero a abril, se procesaron 1392 operaciones de transformación, y fabricaron 570 matrices del proceso completo.

TABLA II

Volumen de piezas procesadas por máquina, así como eficiencia y utilización.
Elaboración Propia.

Maquinas.	Volumen	Eficiencia	Utilización	OEE.
Hass	214	79.26%	93.27%	73.92%
Chmer#4	186	74.10%	96.04%	71.17%
Chmer#3	209	73.08%	94.92%	69.37%
MazaK	251	84.80%	81.19%	68.85%
Chmer#2	158	76.70%	85.87%	65.86%
Chmer#1	161	80.90%	66.34%	53.67%
Chevalier	105	87.50%	49.17%	43.02%
Barrenadora	108	68.79%	42.49%	29.23%
Total	1392	77.98%	78.39%	61.13%

Para el mes de agosto se han procesado 1404 matrices, las cuales de no contar con un proceso de manufactura de

fabricación de refacciones en la compañía habrían generado un costo financiero para su fabricación como se observa en la Fig. 5, mediante una gráfica de columnas apiladas segmentada por 4 rubros los cuales son: presupuesto de insumos y materia prima, el pago de mano de obra, una cuota de energía utilizada y ahorro calculado.

En resumen, se calculaba una inversión de \$3,989,370 MXN para la fabricación de 1404 refacciones de matricería con proveeduría en el periodo de febrero a agosto del año 2023, de lo cual mediante la implementación del proyecto y la inversión de \$2,955,089 MXN se lograron ahorros estimados en \$1,034,281 MXN, representando un 35% de beneficio ante la proveeduría, sin contemplar los beneficios en tiempos de entrega más rápidos debido a la cercanía del proceso y seguimiento más constante a las refacciones.



Fig. 5. Grafica de columnas apiladas segmentada por los montos de inversión en energía, mano de obra, inversión (materia prima e insumos) así como el margen de ahorro calculado por mes. Elaboración Propia.

IV. CONCLUSIONES

Mediante una estrategia de 4 pilares para la implementación de un sistema de fabricación de refacciones, contemplando aspectos tecnológicos y económicos, se logra un ahorro significativo en la fabricación de refacciones, así como la eficiencia de los procesos, haciendo que la operación de troqueles en los cuales son implementadas las refacciones se mantenga en un estado óptimo operativo.

Para la empresa el haber obtenido resultados financieros de este margen implica visualizar la adquisición de más máquinas y equipos que permitan aumentar la capacidad y beneficios para la compañía. En la industria y en general las soluciones deben ser desarrolladas de manera integral; que implementen tecnología de vanguardia y metodologías validadas, logrando así una mayor probabilidad de éxito.

V. AGRADECIMIENTOS

Villa Fajardo, Raúl Alejandro, agradece al Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ) Unidad San Luis Potosí, así como a la empresa MABE y al departamento de encargado del Laboratorio CNC de la empresa por el apoyo en la realización de este proyecto.

VI. REFERENCIAS

- [1] S. Juan, S. Paulo, M. P. Groover, J. E. Aguirre Aguilar, U. Figueroa López, y F. Javier Sandoval Palafox, Introducción a los procesos de manufactura, 1era ed, McGraw Hill, 2012, pp. 1-41.
- [2] J. M. Stella y G. S. Warner, "Modelling a hydrologic Black-Box", Tecnología y Ciencias del Agua, vol. 9, núm. 1, pp. 101-112, 2018, doi: 10.24850/j-tyca-2018-01-07.
- [3] S. Kalpakjian y S. Schmid, Manufactura, ingeniería y tecnología, 5ta ed, Pearson, 2008.
- [4] L. Schvab, Máquinas y herramientas. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2011.
- [5] E. Lago, G. Zúñiga, J. Fidencio Domingo, y J. de Ediciones Francisco Javier Rodríguez Cruz, Ingeniería Industrial - Métodos y tiempos con manufactura ágil, 1era Ed, Alfaomega, 2015.
- [6] L. Wilson, How to Implement Lean Manufacturing, 1era Ed, vol. 1, McGraw Hill, 2010.
- [7] K. W. Dailey, The Lean Manufacturing Pocket Handbook, 1era Ed, DW Publishing, 2003.
- [8] J. R. Díaz-Reza, J. L. García Alcaraz, y A. S. Morales García, "Best Practices in Lean Manufacturing. en SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology", Cham: Springer International Publishing, 2022. doi: 10.1007/978-3-030-97752-8.
- [9] A. Bastas y K. Liyanage, "Integrated quality and supply chain management business diagnostics for organizational sustainability improvement", Sustain Prod Consum, vol. 17, pp. 11-30, ene. 2019, doi: 10.1016/j.spc.2018.09.001.
- [10] B. W. Niebel, A. Freivalds, y M. González Osuna, Ingeniería industrial, métodos, estándares y diseño del trabajo, 1era Ed, Alfaomega, 2004.

