

# OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE BARRENADO PARA EL INCREMENTO DE PRODUCTIVIDAD Y REDUCCIÓN DE RECHAZOS A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA DMAIC: CASO EMPRESA DEL SECTOR AUTOMOTRIZ

OPTIMIZATION OF THE DRILLING PROCESS TO INCREASE PRODUCTIVITY  
AND REDUCE REJECTS THROUGH THE DMAIC METHODOLOGY, CASE OF AN  
AUTOMOTIVE COMPANY

JEL Classification: M00, M10, M19

Received: April 1, 2022 | Accepted: June 1, 2022 | Available online: June 16, 2022

Cite this article as: Chavez, J., Santiesteban, N., González, F., Fierro-Xochitototl, M., & Luna, V. (2022). Optimización del proceso de barrenado para el incremento de productividad y reducción de rechazos a través de la metodología DMAIC: Caso empresa del sector automotriz. Estudios de Administración, 29 (1), 142-164. <https://doi.org/10.5354/0719-0816.2022.66714>

**Juan Chávez Medina**

Universidad Politécnica de Puebla, México

[juan.chavez.medina@uppuebla.edu.mx](mailto:juan.chavez.medina@uppuebla.edu.mx); [juan.chavez@correo.buap.mx](mailto:juan.chavez@correo.buap.mx)  
<https://orcid.org/0000-0002-1978-0620>

**Norma Angélica Santiesteban L.**

Facultad de Administración, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México  
[norma.santiesteban@correo.buap.mx](mailto:norma.santiesteban@correo.buap.mx)

**Fernando Osvaldo González Manzanilla**

Universidad Politécnica de Puebla, México

[fernando.gonzalez@uppuebla.edu.mx](mailto:fernando.gonzalez@uppuebla.edu.mx)

**María Concepción, Fierro-Xochitototl**

Universidad Politécnica de Puebla, México

[maria.fierro@uppuebla.edu.mx](mailto:maria.fierro@uppuebla.edu.mx)

**Víctor Genaro Luna Fernández**

Facultad de Administración, Universidad Politécnica de Puebla, México  
[vgluna@hotmail.com](mailto:vgluna@hotmail.com)

## Resumen

La industria automotriz se ha vuelto más exigente en términos de calidad a lo largo de los años, debido a que los procesos requieren una mayor precisión y un mejor control



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

con la finalidad de cumplir los requerimientos del cliente. El presente trabajo muestra el caso de la implementación de la metodología DMAIC en una empresa del sector automotriz, específicamente en una planta de maquinado de discos, el cual es uno de los procesos más críticos e importantes del sector, ya que es en donde se perfeccionan las piezas, adecuándose a las características que el cliente pide. El número de parte con el que se trabajó es el D170X, un modelo perteneciente al cliente FCA. El objetivo del proyecto de mejora continua es reducir los reclamos del cliente, las cuales son reflejadas en alertas de calidad. Para la reducción de estas alertas se propone disminuir los defectos encontrados en las piezas, los cuales se realizan en la operación del barrenado ya que se encuentran barrenos desfasados y fuera de especificaciones.

En el presente trabajo se desarrolló la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar) para reducir los defectos atacándolos desde la raíz e incrementar el nivel Six Sigma además que se apoyó en la herramienta de calidad AMEF (Análisis del Modo y Efecto de la Falla) para identificar las posibles fallas, y determinar la manera de corregirlas y prevenirlas.

Después del desarrollo e implementación de la metodología DMAIC se evidenciaron cambios favorables en el proceso, siendo la calidad primordial y por ello el cliente se encuentra conforme a sus requerimientos.

**Palabras claves:** Sector Automotriz, Proceso de maquinado, DMAIC, Calidad, Six Sigma, Optimización de proceso, Productividad.

## Abstract

The automotive industry has become more demanding in terms of quality over the years, as processes require greater precision and better control in order to meet customer requirements. The present work shows the case of the implementation of the DMAIC methodology in a company in the automotive sector, specifically in a disc machining plant, which is one of the most critical and important processes in the sector, since it is where they are perfected. the pieces, adapting to the characteristics that the client requests. The part number that was worked with is the D170X, a model belonging to the FCA client. The objective of the continuous improvement project is to reduce customer complaints, which are reflected in quality alerts. In order to reduce these alerts, it is proposed to reduce the defects found in the pieces, which are made in the drilling operation since holes are out of phase and out of specifications.

In the present work, the DMAIC (Define, Measure, Analyze, Implement and Control) methodology was developed to reduce defects by attacking them from the root and increase the Six Sigma level, in addition to being supported by the FMEA (Mode and Effect Analysis) to identify possible failures and determine how to correct and prevent them.

After the development and implementation of the DMAIC methodology, favorable

changes were evidenced in the process, with quality being paramount and therefore the client is in accordance with their requirements.

**Keywords:** Automotive Sector, Machining process, DMAIC, Quality, Six Sigma, Process optimization, Productivity.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Dr. Mario Santiesteban-López presidente de una compañía de autopartes automotrices en la ciudad de San Luis Potosí, México.

## 1. Introducción

A nivel mundial, la importancia de la industria automotriz en las economías nacionales y su papel como motor para el desarrollo de otros sectores de alto valor agregado ha llevado a que diferentes países tengan como uno de sus principales objetivos el desarrollo y/o fortalecimiento de esta industria, en México no es excepción ya que la industria automotriz ha sido un sector estratégico para el desarrollo del país.

En agosto de 2021, el valor de exportación del sector automotriz de México superó los \$10,400 millones, una disminución de aproximadamente \$1,500 millones respecto al valor de exportación de reportado en agosto de 2020. (Szász, et al., 2021; Statista, 2021). Aunque México se ha mantenido tradicionalmente entre los países líderes en la producción mundial de vehículos, ha sido reemplazado gradualmente en la undécima posición desde 2004. Es el caso del centro del país en el que se encuentra el estado de Puebla, ya que es uno de los países más representativos en la industria puesto que es el principal atractivo del capital extranjero en muchos proyectos futuros. Dentro del estado existen varios tipos de empresas dedicadas a la fabricación de autopartes, la industria de fabricación de discos de frenos no es de las más comunes, por lo que es importante para las empresas estar bien posicionadas y ser competitivas para atraer clientes. Dentro de esta perspectiva, es importante señalar que las grandes empresas siguen con éxito las estrategias de calidad basados en las normas ISO 9000, QS 9000 para la industria automotriz de Estados Unidos y Canadá, VDA en la industria automotriz alemana, y Six Sigma para empresas u organizaciones en general, entre otras metodologías de calidad (Chávez et al., 2018). El proceso de fabricación de discos de freno es un tanto complejo y debe estar dentro las especificaciones de las normas mencionadas, ya que el disco está sujeto a varios procesos los cuales están sujetos a altos estándares de calidad y deben ser lo más precisos posible ya que el sistema de frenos es sin duda el componente más importante el automóvil ya que la seguridad de los pasajeros total o parcial depende de él (García, 2015). El proceso de maquinado es importante para cumplir con los estándares de calidad definidos, ya que es la parte que define las características de seguridad requeridas por el cliente en el disco para freno. La calidad de la superficie obtenida en la pieza durante el maquinado depende de la geometría del afilado de la herramienta de corte que utiliza cada máquina en el proceso de transformación del metal (Leyva, 2018). El barrenado es uno de los

procesos más notables, ya que ahí se realiza la perforación, se puede definir como el proceso en el que una herramienta giratoria tiene uno o más bordes cortantes, con la intención de tener las superficies exactas para los agujeros que son una parte importante del ensamblaje de piezas (Camargo, 2010; Tanos, 2010).

La medición es uno de los aspectos clave del control estadístico y la estrategia de mejora de Six Sigma y su metodología es un modelo que sigue un formato estructurado y disciplinado aplicada a la producción como un indicador de la propagación esperada o la variabilidad de los productos fabricados en un proceso. Además, tiene como objetivo eliminar la variabilidad, mejorar la calidad, el costo y el tiempo de ciclo de cualquier tipo de proceso, producción o servicio. Con el enfoque de fabricación ajustada, es uno de los métodos más avanzados y precisos para la mejora de procesos (Manel, 2015). Bajo esta consideración los métodos estadísticos se aplican para sustentar la toma de decisiones, mejorar el rendimiento del proceso y aumentar la satisfacción del cliente (Garza et al., 2016). En un proceso Six Sigma con más de un millón de posibles errores, hay un máximo de 3 o 4 errores. De esta manera, es una métrica que indica el número de errores por millón de oportunidades (DPMO) o cómo funciona el proceso de acuerdo con los requisitos del cliente.

Para su desarrollo en proyectos de mejora se implementa a través de cinco pasos bien definidos conocidos como el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, y Controlar)

**Definir:** El objetivo de esta fase es identificar, acotar y definir el proyecto a realizar con el fin de que éste sea abordable, beneficioso y tangible.

**Medir:** Su objetivo es planificar y llevar a cabo una recogida de datos a fin de caracterizar el mismo.

**Analizar:** Se trata de detectar el estado del proceso y las variables críticas dentro del mismo. Es el momento de la aplicación del análisis de causa raíz para encontrar las palancas que mejorarán el proceso.

**Mejorar:** Identificar e implantar mejoras a aplicar dentro del proceso y realizar prueba piloto.

**Controlar:** Establecer mecanismos para asegurar que las mejoras se mantienen en el tiempo.

Un objetivo de la aplicación de la metodología DMAIC es el aumentar la calidad en el proceso, para este estudio se utiliza herramientas lean como el análisis de falla y efecto (AMEF) para medir y cuantificar el problema (Tovar, 2014). La prevención de fallas es un punto clave para la implantación de dicha metodología, ya que previene defectos ya ocurridos con anterioridad y así mejora la calidad (Esquivel et al., 2017).

Lo expresado anteriormente, se formula que todo se relaciona entre sí, ya que el valor de una característica de calidad es un resultado que depende de una combinación de variables y factores los cuales son determinados durante los datos obtenidos con las herramientas de calidad en su aplicación en el proceso de producción. El análisis de los datos medidos permite obtener información sobre la calidad del producto, el funcionamiento del proceso que se examinará y se corregirá, y los lotes de productos que se aceptará o rechazará. En todos estos casos, las decisiones deben tomarse y estas decisiones dependen del análisis de los datos (De la Guerra, 2015). Dado que se propone el análisis de datos, es importante tomar las medidas apropiadas como es el caso del análisis de modo, y el impacto en un proceso falla ya que detecta previamente posibles errores en el proceso. La industria automotriz ha utilizado la herramienta

AMEF, la cual es adecuada para reconocer y bloquear las causas de posibles errores en los productos y procesos.

## 2. Marco contextual

Para el presente estudio es necesario mencionar que, por razones de confidencialidad, la empresa en la que se desarrolló el trabajo se enuncia como “Empresa del sector automotriz o Empresa A”; para lo cual se ilustran los datos generales de la organización en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Información general de la empresa automotriz.

DATOS GENERALES	
Razón social	Empresa del sector automotriz
Giro de la empresa	Metalmecánico, sector automotriz
Tamaño de la empresa	Mediana, cuenta con 165 empleados
Procesos	Fundición, maquinado y pintura
Clientes	Ford Motors, General Motors, Fiat Chrysler Automotive, Honda, Mitsubishi, Nissan, Toyota, Mercedes Benz, Volkswagen, Maserati y Audi

Elaboración propia.

### *Procesos de la empresa*

La empresa se dedica a la fabricación de componentes para sistemas de frenos; específicamente de discos para frenos. Cuenta con los procesos integrados de fundición, maquinado y pintura para la elaboración de estos, la organización es del giro automotriz, dedicada a producir componentes para sistemas de suspensiones y frenos, destinados a las camionetas pick-up, “minivans”, vehículos utilitarios y automóviles para pasajeros de E.U.A, México, Canadá y Mercosur. Actualmente la empresa abastece más de 50 plataformas de diferentes clientes. Tiene instalaciones en los Estados Unidos, México y Brasil, ubicaciones estratégicas para atender el Norte y Sudamérica.

## 3. Planteamiento del problema

Debido a lo anteriormente mencionado para la mayoría de las empresas manufactureras, la gestión de los materiales; subconjuntos, componentes, piezas y materia prima es importante debido al riesgo de desabasto de materia prima o rupturas de stock que existe en las empresas, mismos que generan costos logísticos y de producción. Sin embargo, a través de los años para facilitar el cumplimiento de las necesidades del mercado, se ha podido encontrar un sistema básico para la administración y planificación de la producción conocida como MRP. Para la “empresa del sector automotriz”, no es la excepción, con el paso del tiempo ha logrado una derivada cartera de clientes y el principal cliente es Adient a quien le provee 18 ítems de producto terminado, y este a la vez, le provee a VW. El total de ventas que tuvo

en el año 2019, únicamente para el cliente antes mencionado fue de 1,485,171 de piezas con un valor de USD 2,074,554. Para la fabricación de las piezas vendidas la organización se abasteció de 372 toneladas de alambre (promedio de 31 toneladas por mes). Y por otra parte se abasteció de 343 toneladas de acero (promedio de 29 toneladas por mes). Dicho lo anterior, en los últimos meses por falta de planeación de materiales no se adquirió la materia prima requerida a tal punto de no tener para producir componentes, motivo por el cual se consiguió un nuevo proveedor de alambre. Las referencias críticas que se tuvieron a tal grado de parar la línea del cliente fue la referencia 17A 881 559A con un requerimiento promedio por día de 1000 piezas, referencia 5QM 885 305 con un requerimiento promedio de 990 piezas, referencia 3CN 8811 537 con un requerimiento promedio de 300 piezas y la referencia 5NN 881 538 con un requerimiento promedio de 860 piezas.

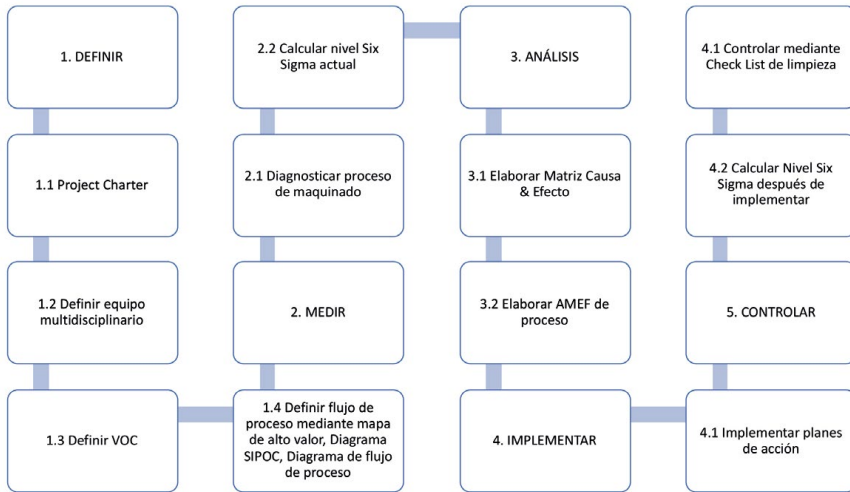
#### **4. Justificación**

Toda empresa tiene procesos con variabilidad, rechazos, errores, pero al implementar una mejora continua se pretende tener la reducción de estos, en este sentido se debe mencionar que la empresa automotriz cuenta con un proceso de maquinado, en el cual se encuentra procesando el número de parte D1704S del cliente FCA. De acuerdo con los datos históricos se encuentra como crítico, ya que cuenta con un porcentaje de rechazo fuera de especificación. El objetivo es mantener dentro del 0.9% de rechazo de piezas, pero en los últimos meses este número de parte se ha elevado a un 1.57% de rechazo de acuerdo con el reporte de líneas que se da dentro del área de maquinado. En una corrida del número de parte ya mencionado, se han llegado a presentar un total de 4933 defectos, lo cual ha implicado que en los últimos meses los errores han llegado hasta el cliente, provocando que se emitan aproximadamente 5 alertas de calidad por bimestre. En el proceso intervienen diversos factores que contribuyen a la fabricación de discos con defectos, el principal defecto es el mal barrenado por herramienta rota y de acuerdo con los defectos mencionados con anterioridad se tiene un aproximado de pérdida de \$34,479 cada que existen errores en el proceso, ya que el retrabajo presenta costos lo cual se refleja en pérdidas para la empresa. Por ello se pretende ahorrar esa cantidad con la optimización del proceso de barrenado para el incremento de productividad y reducción de rechazos del número de parte D1704S del cliente FCA a través de la metodología DMAIC en la empresa automotriz.

#### **5. Desarrollo Metodológico**

En este apartado se elaboró un esquema basado en la metodología DMAIC (ver figura 1) donde se indican las actividades a realizarse para el alcance de los resultados esperados.

**Figura 1.** Esquema metodológico.



Elaboración propia.

### ***Etapa de Definir***

Es la primera etapa del ciclo de mejora DMAIC, la fase Definir implica describir el problema y determinar de qué forma afecta. Además, en esta etapa se trazan los objetivos que se pretenden lograr; se debe definir el alcance, los límites descritos, los recursos potenciales y los plazos, por lo cual se desarrolló el Project Charter (carta proyecto) donde se detallaron cada uno de los aspectos fundamentales del proyecto, donde se delimitaron los alcances, se fijaron los objetivos, se establecieron los entregables, y se asignaron responsabilidades y planes (financieros, recursos, calidad). El departamento de “Mejora Continua” junto con los integrantes son los que se encargan de seleccionar el proyecto, el cual consiste en la reducción de rechazo del número de parte.

### ***Roles y responsabilidades***

Se elige al equipo multidisciplinario como se muestra en la tabla 2, teniendo en consideración que los nombres se omiten intencionalmente y se las personas quienes participarán en el proyecto, sin embargo, es necesario mencionar que el equipo está compuesto por cargos altos, medios y bajos.

**Tabla 2.** Equipo multidisciplinario Six Sigma

Responsable/Área	Rol
Gerencia de maquinado	Champion
Producción de maquinado	Líder de proyecto
Calidad	Green belt
Mejora continua	Soporte
Finanzas	representante financiero

Responsable/Área	Rol
Producción de maquinado (mando medio)	Encargado de línea
Producción de maquinado (operativa)	Operador de línea

En esta etapa se escucha la voz del cliente (ver Tabla 3), se recopilan las alertas de calidad emitidas por el cliente FCA, se pretende reducir el porcentaje de rechazo de un número de parte D1704S, para analizar cómo afecta los indicadores de calidad de acuerdo con las alertas de emitidas por el cliente, el ingeniero de garantías proporciona el dato de 5 alertas de calidad emitidas por bimestre debido a los defectos encontrados en las piezas.

**Tabla 3.** CCR´s (Requerimientos críticos del cliente)

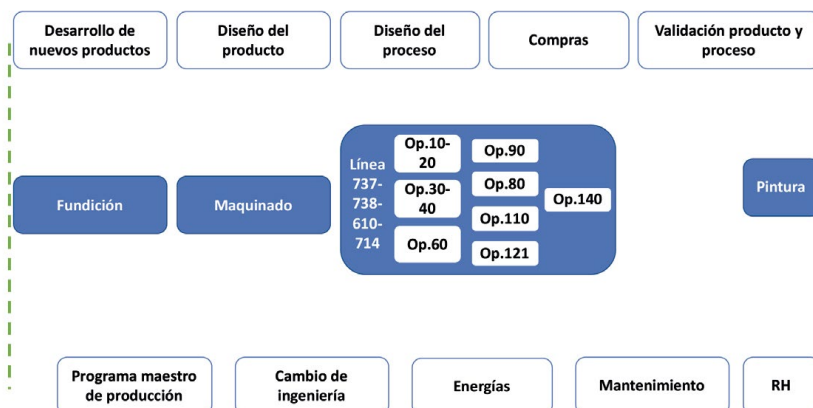
Voz del Cliente	Requerimientos críticos del cliente	Después de aclarar, el tema es...
No se aceptan piezas con defectos	Existen alertas de calidad de piezas defectuosas	Promedio de 5 alertas de calidad de FCA por bimestre

El crítico de satisfacción que permite mantener el estándar establecido por el cliente es el “crítico de calidad” (CTQ), FCA no permite mal acabado en barrenos, los cuales son el motivo principal para emitir las alertas de calidad como se observa en el anexo 1, el defecto encontrado en una pieza (número de parte D1704S), muestra el desfase de 2 de los barrenos que se encuentran en la brida exterior del disco, lo cual implica una queja de cliente ya que puede atentar contra la seguridad del usuario.

### Descripción del proceso

Se debe tener un esquema general del proceso para identificar la operación se está provocando el defecto del disco, es para ello que se realiza un mapa de alto nivel (ver figura 8) para mostrar un panorama general de las áreas y los procesos involucrados en la fabricación de discos para frenos.

**Figura 2.** Mapa de alto nivel



Elaboración propia.

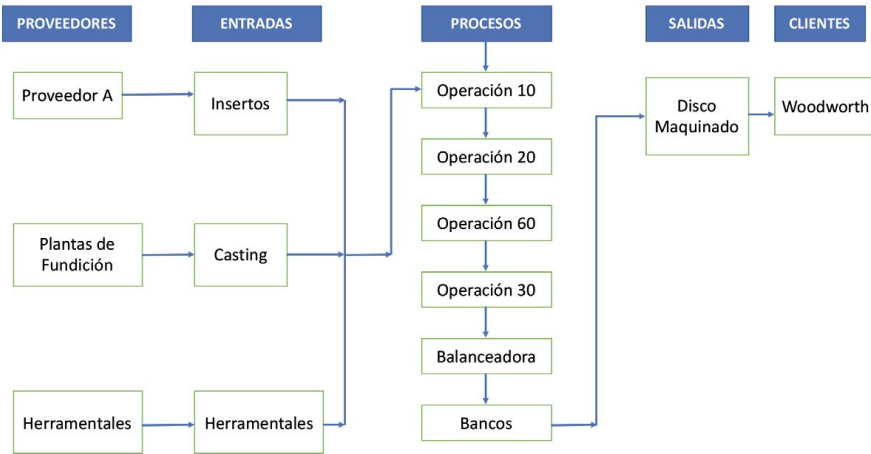


Este trabajo se enfoca en el proceso de maquinado, del cual se despliegan las operaciones que se llevan a cabo en él.

### Diagrama SIPOC

A continuación, se presenta un diagrama (ver figura 3) la cual sirve como guía para una para caracterizar el proceso de maquinado en particular, y así facilitar identificación de elementos claves como: Proveedores, Entradas, Procesos (subprocesos), Salidas y Clientes.

Figura 3. Diagrama SIPOC.



Elaboración propia.

Como proveedores se tienen externos e internos, dentro de los internos se encuentran las plantas de fundición que proporciona la pieza ya como disco o también conocido como casting. En las entradas se encuentran las materias primas que son las que aportan valor al proceso, en este caso los insertos, herramentales en general y los discos. El proceso se compone en general de operaciones en las cuales se encuentra el barrenado con la que se trabajará posteriormente. Por último, en la salida se obtiene la pieza o disco ya con las especificaciones que pide el cliente, libre de defectos y listo para ser enviado al cliente interno el cual es pintura.

### Diagrama de flujo

Para comprender el proceso completo se muestra a continuación (ver anexo 2) un diagrama de flujo, donde se muestra el proceso desde que la pieza sale de la planta de fundición y hasta que sale de la planta de maquinado, se indica el número y la descripción de la operación.

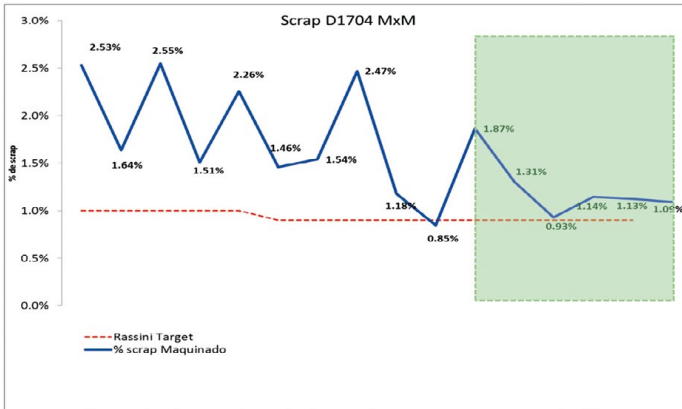
### Etapa de Medir

En esta etapa se tiene como objetivo establecer la medición de la situación actual contra la cual se pretende mejorar, aquí se identifica las de restricciones proceso, así como las posibles áreas de oportunidad.

**Diagnóstico**

En la siguiente gráfica estudia el porcentaje de rechazo general de la planta de maquinado, los meses que se comprendieron van desde febrero 2019 hasta enero 2020. Se observa que a partir del mes de Julio 2019 hubo un incremento considerable en el porcentaje de rechazo, rebasando target o scrap ideal el cual corresponde al 0.9%. Al realizar el promedio aproximado de los meses estudiados da como resultado un 1.38% de rechazo, teniendo un 0.48% arriba del target. Lo cual nos indica que el proceso de maquinado no está siendo productivo, representado en la figura 4.

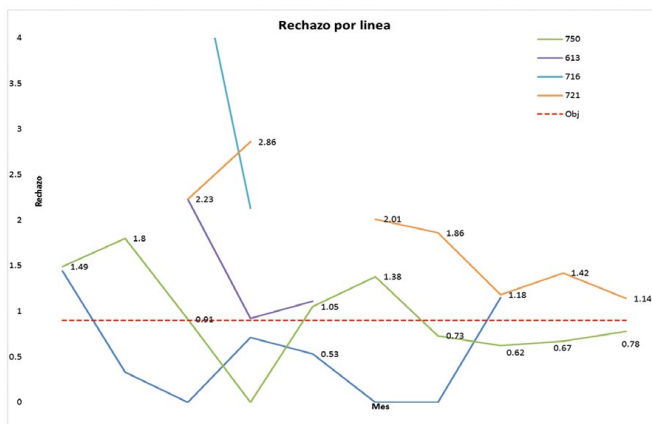
**Figura 4.** Gráfica de porcentaje de rechazo de maquinado.



Elaboración propia.

En la planta de maquinado se tienen diferentes líneas en donde se procesan mismos números de parte, el D1704S se trabaja en su mayoría en la “Línea 750 y en la 716” ya que tienen una producción constante, las líneas alternativas como la 613 y 721, no siempre procesan ese número de parte por lo que no pueden tomarse en cuenta para un estudio ya que podrían tener lapsos de tiempo donde no se obtendrían datos ni resultados.

**Figura 5.** Gráfica de total de porcentaje de rechazo por línea.

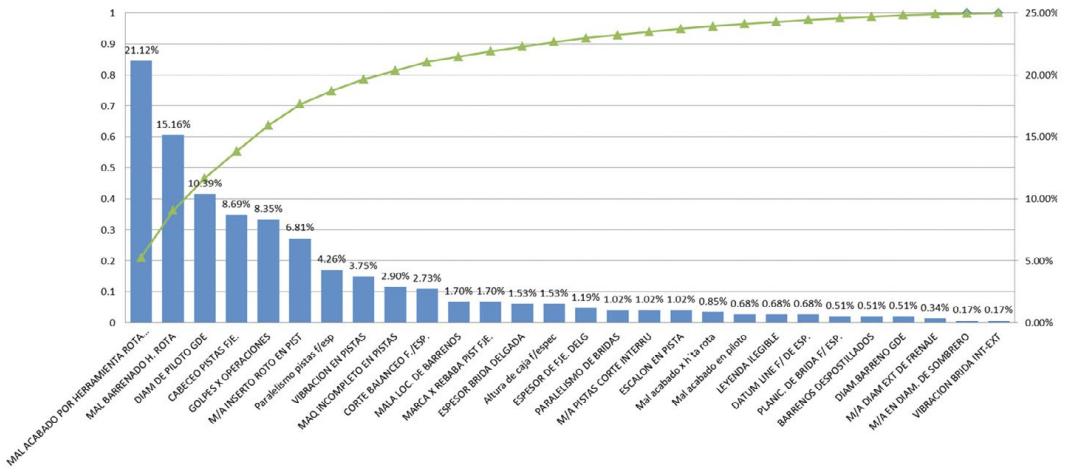


Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 5 en el periodo de julio 2019- febrero 2020, la línea en la cual se encontró un mayor porcentaje de rechazo fue en la línea 750, rebasando así el objetivo y el rechazo global. A partir de este análisis se concluye que el punto inicial para atacar será la línea 550, ya que ahí se procesa el número de parte D1704S, el cual tiene un mayor número de alertas de calidad emitidas por FCA.

Continuando con la identificación de defectos, se realiza una gráfica de Pareto mostrada en la figura 6, para detectar y priorizar el defecto que tiene una mayor repetitividad en el D1074, el cual está provocando que el porcentaje de rechazo sea elevado.

**Figura 6.** Gráfica de Pareto, defectos de maquinado parte D1704S, L750.

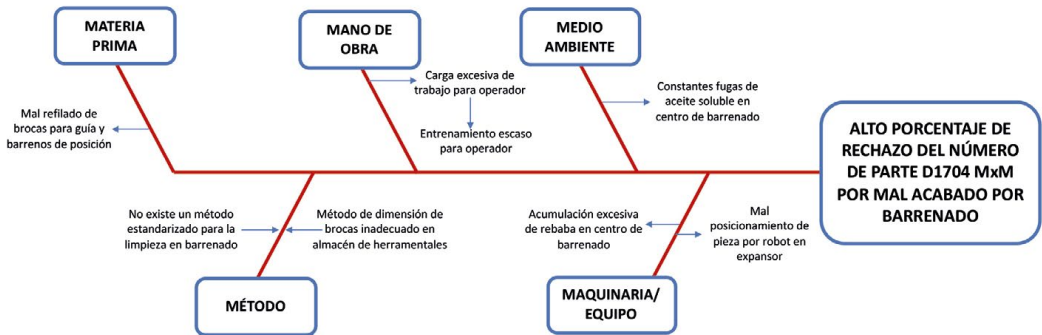


Elaboración propia.

Se muestra en la figura 6 que el defecto que más ocurre en la L750 es el mal acabado por herramienta rota en la operación 60, el cual corresponde a un mal barrenado de la pieza, el cual ya se había mencionado con anterioridad había provocado un reclamo del cliente. Dentro del 80-20 se encuentran diferentes tipos de defectos que ocurren con mayor frecuencia los cuales serán incluidos en los planes de acción para poder eliminar los posibles defectos.

Una vez identificado el principal defecto en el diagrama de Ishikawa se observan las diferentes causas que apuntan hacia el principal problema el cual genera una pieza defectuosa. Las causas más relevantes corresponden a maquinaria y a la mano de obra, ya que son los principales factores que tienen una relación directa con el proceso de barrenado como se observa en la figura 7.

**Figura 7.** Diagrama de Ishikawa.



Elaboración propia.

Después de realizar el diagnóstico, se concluye que en el área de maquinado se tiene un problema con el número de parte D1704S ya que se tienen un registro de alertas de calidad emitidas por el cliente FCA. Las piezas se están procesando principalmente en la línea 550, y el problema está surgiendo específicamente en operación 60, donde se está realizando un mal barrenado causado principalmente por la inadecuada mano de obra y por el mal uso de la maquinaria.

#### Cálculo de nivel Six Sigma

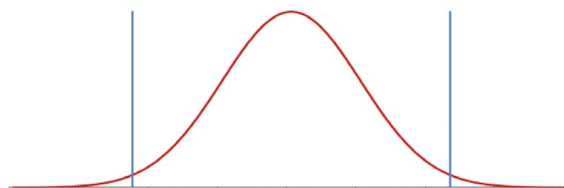
En el proceso de maquinado del número de parte D1407 se toma como muestra un total de 50942, este número de piezas se tomaron como muestra durante un lapso de 4 meses, con un total de 1360 número de defectos observados que tuvieron como consecuencia un retrabajo.

Luego de realizar el cálculo de los DPMO se tiene un total de 26,697.028 defectos por millón de oportunidades, teniendo un nivel Six Sigma de proceso del 3.43.

Siendo representados de manera gráfica (ver figura 8) indica que las unidades comprendidas entre las barras azules corresponden a las unidades conformes por oportunidades de defectos, y las unidades que se encuentran fuera de la barra corresponden a los defectos del proceso

**Figura 8.** Calculadora Nivel Six Sigma y DPMO.

Número de oportunidades de defecto por unidad	O	1
Número de unidades evaluadas (Tamaño de la muestra)	N	50942
Número de defectos observados	D	1360
Defectos Por Millón de Oportunidades (DPMO)	DPMO	26697.028
Defectos Por Oportunidad (DPO)	DPO	0.02670
Yield (Rendimiento del proceso)	Y	97.3303%
Nivel Sigma (1,5 Desviación)	σ	3.43



De acuerdo con una clasificación de nivel Six Sigma, indica que de acuerdo con los defectos por millón de oportunidades es proporcional al nivel de calidad del proceso como se muestra en la siguiente Tabla (ver Tabla 4).

**Tabla 4.** Clasificación por nivel de desempeño de Seis Sigma.

Nivel de Sigma	Defectos por Millón de Oportunidades	Nivel de Calidad	Costo de Calidad Promedio	Clasificación
6	3.4	100.00%	Menos del 1% de Ventas	Clase Mundial
5	233	99.98%	5 - 10% de Ventas	Industria Promedio
4	6.21	99.40%	15 - 25% de Ventas	Baja Competitividad
3	68.807	93.3%	25 - 40% de Ventas	No Competitivo
2	308.537	69.20%	No Aplica	No Competitivo
1	690	30.90%	No Aplica	No Competitivo

Chávez, (2019)

De acuerdo con el cálculo anterior, indica que en la fase de maquinado se tiene una baja competitividad con un 93.3% lo cual muestra que el proceso no es competitivo y carece de calidad, en consecuencia a ello, se han visto reflejados en las alertas de calidad que el cliente FCA ha emitido.

### ***Etapa de análisis***

#### ***Matriz causa & efecto***

A partir del principal defecto se realiza una Matriz Causa y Efecto (ver anexo 3) para encontrar el principal motivo que está causando que se tenga un mal barrenado, se evalúan a operadores involucrados en el proceso, se asigna una escala de: “3- bajo, 5-medio, 7-alto”.

Para evaluar y al final sumar puntos, teniendo como resultado que no existe un método estandarizado para la limpieza en la operación del barrenado y quedando como segunda causa la suciedad en “collets”, estas principales causas para un mal acabado en barrenos fueron tomadas del análisis de causa-raíz (ver Figura 7.) los cuales se incluyeron en el AMEF.

### ***Análisis de modo y efecto de falla (AMEF)***

Para esta etapa se identificaron las causas que afectan al proceso (variable x), por lo cual se realizó un AMEF para la identificación de las fallas en el proceso y de esta forma evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos y causas (ver anexo 4) es así como, para esta forma, evitará su ocurrencia y se tendrá un método documentado de prevención. A continuación, se muestra el análisis. De acuerdo con este estudio el número de prioridad de riesgo (RPN), es el producto de la multiplicación de la severidad, ocurrencia y detección. El RPN es un número que indica la prioridad que se le debe dar a cada falla para eliminarla; se considera que un RPN superior a 30

requiere de un tratamiento de modo de falla, y el RPN corresponde a 60. De esta forma se identifica que las acciones que se deben tomar están en la falla que se da en la operación 60 que corresponde al barrenado, específicamente en el diámetro de barrenos de sujeción, los cuales se mencionaron con antelación que tuvieron defectos encontrando barrenos desfasados en piezas. En el análisis del AMEF se colocan las acciones para controlar esa posible falla, las cuales serán relacionadas con la “Matriz Causa & Efecto”.

### ***Etapa de mejora***

Recapitulando con las fases de definición, medición, análisis, se procede a la etapa de mejora; es aquí en donde se pretende actuar para mejorar el proceso y así reducir el rechazo. Esto se llevará a cabo mediante planes de acción con actividades que las personas involucradas con el proceso tienen que seguir.

Para la implementación de cada mejora se establecieron fechas de cumplimiento y el plan de implementación se colocó a la vista de todos los colaboradores para darle seguimiento como se establece en el anexo 5.

### ***Control y resultados***

En esta etapa se muestra los resultados obtenidos a lo largo de las etapas del diseño metodológico (ver Figura 1) los cuales se controlarán en un futuro para seguir teniendo mismos resultados. De acuerdo con los nuevos datos proporcionado por el ingeniero de garantías, se asegura que la calidad tuvo un cambio significativo y favorable ya que el número de alertas de calidad se redujeron, quedando de la siguiente manera resumido en la Tabla 5:

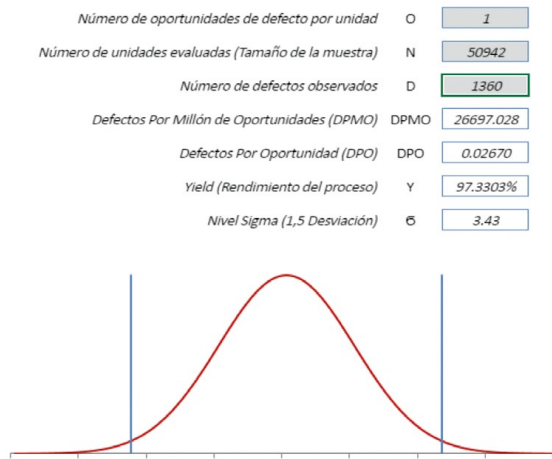
**Tabla 5.** CCR’s después de implementación (Requerimientos críticos del cliente).

<b>Voz del Cliente</b>	<b>Requerimientos críticos del cliente</b>	<b>Después de aclarar, el tema es...</b>
No se aceptan piezas con defectos	Existen alertas de calidad de piezas defectuosas	2 alertas de calidad de FCA

Se redujeron 3 alertas de calidad comparando con el CCR’s antes de la implementación de la metodología DMAIC. Lo cual coadyuva al objetivo de monitorear los índices de productividad y nivel de aceptación para la reducción del número de alertas de calidad del cliente FCA. En la muestra tomada para comparar el nivel Six Sigma después de implementar la metodología se toma de un total de 25689 piezas, las cuales fueron en un lapso 1 mes con un total de 452 número de defectos observados. Luego de realizar el cálculo de los DPMO se tiene un total de 17595.07 defectos por millón de oportunidades, teniendo un nivel Six Sigma de proceso del 3.61.

Representando nuevamente de manera gráfica como se observa en la figura 10 se indica que las unidades comprendidas entre las barras azules corresponden a las unidades conformes por oportunidades de defectos, y las unidades que se encuentran fuera de la barra corresponden a los defectos del proceso, lo cual indica que las unidades que se encuentran fuera de las barras azules son menores en comparación a la primera muestra del nivel Six Sigma, el cual tuvo un cambio favorable ya que aumentó con un 0.18, siendo un cambio no tan significativo pero favorable.

**Figura 9.** Calculadora Nivel Six Sigma y DPMO (Resultados después de la mejora)



De acuerdo con el siguiente análisis mostrado en la Tabla 6 se demuestra que implementación de la metodología DMAIC para la optimización del proceso de barrenado y reducción del porcentaje de rechazo del número de parte D1704S del cliente FCA fue exitoso ya que se tuvo una mejora del 0.4%. Como se menciona en el diagnóstico realizado; el target o porcentaje de rechazo ideal es del 0.9%, después de la mejora el promedio ya se encuentra dentro del porcentaje ideal correspondiendo a un 0.98%.

**Tabla 6.** Comparativa Antes-Después de mejora aplicada

DATOS DE ATRIBUTOS	ANTES DE LA MEJORA	DESPUÉS DE LA MEJORA
N° de defectos observados	1,360.00	452
N° de oportunidades	1	1
N° de unidades (Tamaño de muestra)	50942	25689
Defectos por millón de oportunidades (DPMO)	26,697.00	17,595.07
PROMEDIO DE % DE RECHAZO	1.38%	0.98%

Al llegar a los resultados esperados se comprueba que las diferentes áreas de la empresa tienen la capacidad de tener procesos óptimos, solo es cuestión de estrategias de mejora para implementar y trabajar en ellas. Tal es el caso de la metodología DMAIC implementada a lo largo del proyecto.

## 6. Resultados y Conclusiones

El trabajo considero todas las etapas y herramientas de apoyo correspondientes en la aplicación de un DMAIC, lo que facilitó el análisis y la aplicación, puesto que se encontró la causa específica que estaba generando el principal problema en el área de

maquinado. Todas las etapas fueron sustentadas con datos reales y específicos, con el fin de tener una comparativa cuantitativa y así demostrar la efectiva implementación. Los resultados obtenidos a lo largo de varios meses demuestran que el departamento de calidad en conjunto con el área de maquinado tiene la capacidad de desarrollar nuevos proyectos de mejora continua con otros números de parte que han presentado problemas, lo cual ya se ha planteado después de los resultados obtenidos con esta implementación. En la empresa en general ha presentado un ahorro de un aproximado de \$20,688 ya que al tener solo dos alertas de calidad del cliente se tiene menos pérdida comparada con la inicial. El porcentaje de rechazo disminuyó lo cual se ve relacionado directamente con la calidad y con los costos de retrabajo. Cabe mencionar que la disciplina del equipo multidisciplinario fue un factor clave para la implementación, puesto que se podrá contar con todos los recursos necesarios pero el recurso humano se convierte en el prioritario ya que es el encargado de llevar el correcto análisis, la implementación y el control.

Por lo que se concluye que en el área de maquinado y se identifica que el porcentaje de rechazo se encontraba en 1.8%, rebasando el ideal establecido que corresponde a un 0.9% (ver figura 1) ya que se tiene un total de 26,697 defectos en el proceso de barrenado, debido a una mala implementación de rutinas de limpieza en el centro de barrenado y la mala capacitación del personal a la hora de colocar el herramental necesario en cada cambio de modelo, con lo cual se trabajó a lo largo del proyecto, atacando específicamente las causas detectadas.

Se desarrolló la metodología DMAIC con la aplicación de herramientas de apoyo en cada el principal problema y sus causas por medio de herramientas de calidad, el desarrollo del proyecto se basó por medio del diseño metodológico establecido como se muestra en la figura 3. Durante la elaboración y análisis del diagnóstico, se detectó que el mal acabado en piezas se debe al mal acabado por la herramienta rota provocado por dos principales factores incluidos en la mano de obra y la maquinaria, en este sentido, también el AMEF tuvo como propósito atacar y prevenir esas posibles fallas.

Se reduce a 2 alertas de calidad emitidas por el cliente FCA, no se eliminan en su totalidad ya que el total de ellas antes de la implementación era 5, aún se requiere de trabajo y constancia, pero los resultados fueron los esperados

El nivel Six Sigma antes de implementación tenía un valor de  $3.43\sigma$  después de la implementación se encuentra actualmente con una mejora, puesto que ahora el nivel Six Sigma corresponde a un  $3.6\sigma$  aunque representa solo un 5% todavía se encuentra en la fase de crecimiento en el nivel por lo que se espera que avance hasta  $4\sigma$ , por lo que el proceso de barrenado es productivo, reflejando un porcentaje de rechazo del número de parte D1704S dentro del target mencionado.

## Recomendaciones

Como recomendaciones se propone trabajar en las dos alertas de calidad de FCA pendientes, para obtener mejores resultados y datos estadísticos precisos para una mejor comparativa y una mejora continua completa en cuanto al número de parte D1704S. Se recomienda trabajar e implementar proyectos similares en problemas detectados con el número de parte D1904 ya que de igual manera presenta defectos y reclamos de cliente.

Es necesario continuar monitoreando que las acciones propuestas en el plan de acción continúen siendo llevadas a cabo por los operadores, ya que la limpieza



del centro de barrenado depende de que no se presenten nuevamente los defectos detectados.

Es preciso que el personal se mantenga en constante capacitación para un buen uso de la maquinaria, además de que debe saber interpretar un AMEF para tener conocimiento de las posibles fallas que se puede presentar y ser capaces de corregirlas por sí solos.

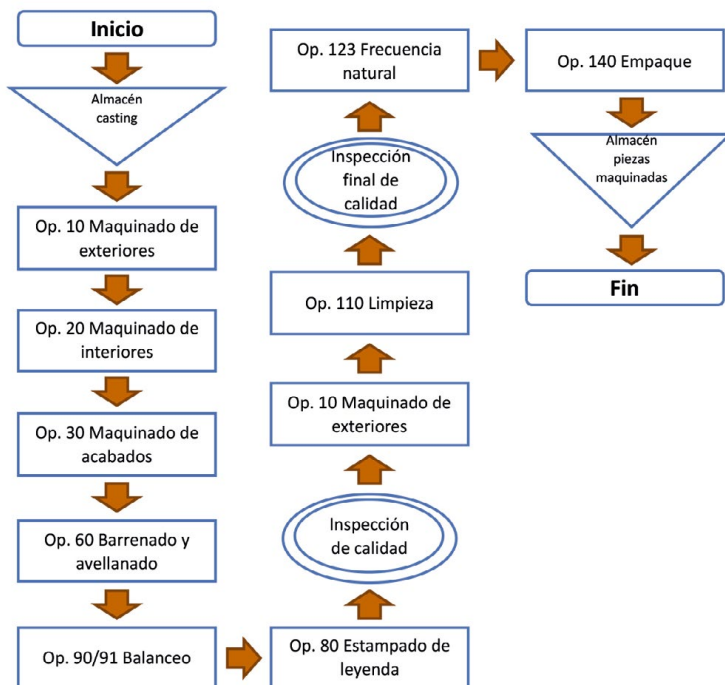
Es importante señalar, que para que se obtengan cero defectos se recomienda implementar un sistema de control de calidad en donde se desarrollen manuales y procedimientos, así como auditorías por capas (LPA), entrenamiento a los operadores para identificar los defectos y parar la línea en el momento justo, también se recomienda hacer una empresa sustentable implementado el sistema de calidad para poder llegar a cero defectos y cero quejas, para ello se requiere sistematizar a un más el proceso, y hacer uso de las alertas de calidad, además se recomienda emplear la filosofía “No hago piezas defectuosas, no paso piezas defectuosas y no envío piezas defectuosas”.

## Apéndices

### Apéndice A Parte con defecto de barrenado Figura A1. Parte con defecto de barrenado



**Apéndice B. Flujo del proceso de maquinado**  
**Figura B1. Diagrama de flujo del proceso de maquinado**



**Apéndice C. Análisis causa y efecto**  
**Tabla C1. Matriz causa y efecto**

MATRIZ CAUSA & EFECTO						
MAL ACABADO EN BARRENOS						
SALIDAS	Evaluadores					TOTAL
	DESCRIPCIÓN	S. Pérez	A. Méndez	A. Reyes	E. Ortega	
Mal reafilado de brocas para guía y barrenos de posición	3	3	3	3	5	17
Suciedad en collets	7	7	7	7	5	33
Carga excesiva de trabajo para operador	3	5	5	3	5	21

<b>MATRIZ CAUSA &amp; EFECTO</b>						
<b>MAL ACABADO EN BARRENOS</b>						
<b>SALIDAS</b>	<b>Evaluadores</b>					<b>TOTAL</b>
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>S. Pérez</b>	<b>A. Méndez</b>	<b>A. Reyes</b>	<b>E. Ortega</b>	<b>R. Serrano</b>	
<b>Entrenamiento escaso para operador</b>	3	3	3	3	3	15
<b>Constantes fugas de aceite soluble en centro de barrenado</b>	5	3	7	3	5	23
<b>No existe un método estandarizado para la limpieza en barrenado</b>	7	7	7	7	5	33
<b>Método de dimensión de brocas inadecuado en almacén de herramientas</b>	3	3	3	5	3	17
<b>Acumulación excesiva de rebaba en centro de barrenado</b>	5	5	5	3	5	23
<b>Mal posicionamiento de pieza por robot en expansor</b>	5	5	5	5	5	25

**Apéndice D. Análisis AMEF**  
**Tabla D1. AMEF**

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	REQUERIMIENTOS	MODO DE FALLA POTENCIAL	EFFECTO POTENCIAL DE FALLA	SEV.	CAUSAS/MECANISMOS POTENCIALES DE FALLA	OCU	CONTROLES ACTUALES DE PREVENCIÓN	CONTROLES ACTUALES DE DETECCIÓN	DETE	NPR
BARRENADO	De acuerdo a requerimientos específicos de diente	Mayor a la especificación	Tiempo muerto por ajuste de proceso	5	Centro de barrenado con exceso de rebaba	3	Se cuenta con métodos de limpieza para centro del barrenado y collets	Frecuencia: 5 piezas continuas cada cambio de broca	4	60
			Falta de encaje con barreno de fijación		Rotura de herramienta por mala localización por parte de operador	3	Cumplimiento con no. de broca y no. de pieza por filo en la hoja comparativo vs hoja de diseño	Validación: Gauge de barrenos		
			Localización de barrenos fuera de especificación		Desajuste de offset de la herramienta	3	Se cuenta con hoja de método de trabajo estándar	Inspección Visual: 1Pza cada tendido	60	
			Dificultad de ajuste y apriete en vehículo		Desgaste de la herramienta	3			60	
			Problemas de localización de barrenos con poma yoke		Centrador fuera de especificaciones de diseño. Mala posición de herramienta	3	Instructivo de cambio de insertos		60	

**Apéndice E. Plan de acción**  
**Tabla E1. Presentación del Plan de Acción**

Formato para Plan de Acción						
FECHA DE ACTUALIZACIÓN					14/04/2020	
ITEM	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	FECHA		COMENTARIOS DE AVANCE	
			P	A		
1	Cambiar sin fin nuevo, ya que se encuentra con juego por problemas con variación de espesores, problemas con diámetro de tambor.	Mantenimiento	S	23-ene-20	23-mar-20	Monitorear rechazo por problemas con diámetro de tambor.
2	Cumplir con check list de limpieza, al menos cada cambio de modelo	Martin Gutiérrez/Supervisores	S	25-ene-20	25-mar-20	DD del titular, ADRIAN JUÁREZ MARTÍNEZ CLAVE 63963 cubre en línea 721=9.19%
			F	26-ene-20	26-mar-20	DD del titular, ADRIAN JUÁREZ MARTÍNEZ CLAVE 63963 cubre en línea 750=4.88%
3	Capacitación a personal para el ajuste de brocas	Martin Gutiérrez/Supervisores	S	27-ene-20	27-mar-20	DD del titular, ADRIAN JUÁREZ MARTÍNEZ CLAVE 63963 cubre en línea 721=9.09%
			F	28-ene-20	28-mar-20	DD del titular, ADRIAN JUÁREZ MARTÍNEZ CLAVE 63963 cubre en línea 750=5.88%
4	Limpieza con personal TDP para capacitación sobre posibles fallas y acciones en operación 60	Martin Gutiérrez/Supervisores	S	29-ene-20	29-mar-20	Asistió el titular Omar Rojas 2.76%
			F	30-ene-20	30-mar-20	PP 217 6 de rechazo L750 no procesa
5	Trabajar con personal TDP para capacitación sobre posibles fallas y acciones en operación 60	Martin Gutiérrez/Supervisores	S	31-ene-20	31-mar-20	26-10-19 DD del titular, ADRIAN JUÁREZ MARTÍNEZ CLAVE 63963 cubre en línea 721=0.39%
			F	01-feb-20	01-abr-20	27-10-19 del titular, Luis Angel Pérez Cazabal, cubre en línea 750%
6	Trabajar con personal TDP	Supervisores	S	02-feb-20	02-abr-20	
			F	03-feb-20	03-abr-20	
7	Modificar actividades de TPM y 5's de 5 a 15 minutos	Operadores	S	04-feb-20	04-abr-20	
			F	05-feb-20	Continuo	

## **Declaración de confidencialidad y privacidad**

Se manifiesta que el nombre de la entidad en la que se realizó dicha investigación no es mencionado con la finalidad de proteger y mantener la confidencialidad de la misma.

## **Declaración de conflicto de interés**

Como autores del presente manuscrito manifestamos que no existen conflictos de interés con alguna entidad, institución ni de carácter personal en esta publicación que pudieran influir o sesgar de manera inapropiada este trabajo.

## **Confidentiality and privacy statement**

The names of the persons and companies involved in this research have been deleted to protect and maintain the confidentiality of the organization.

## **Declaration of conflict of interest**

We, the authors, declare that there is no conflict of interest with any entity, institution or person in this publication that could have improperly influenced or biased our work.

## **Referencias**

- Camargo, J. (2010). *Propuesta de un dispositivo de montaje para la fabricación de herramientas de corte* [tesis de grado]. Instituto Politécnico Nacional, México. Repositorio Dspace. <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/6547/1/PROPDEUNDISPOSIT.pdf>
- Chávez, J., Santiesteban, N. A., Carmona, J.L., Muñoz, I. (2018). Efecto del mantenimiento industrial, maquinaria y equipo, mano de obra, métodos de trabajo y materia prima con respecto al nivel de Six Sigma en una Pyme: Caso bloquera medina del municipio de San Pedro Cholula, Puebla. *Revista de Ingeniería*, 2(6), 34-44. [http://www.ecorfan.org/republicofperu/research\\_journals/Revista\\_de\\_Ingenieria\\_Industrial/vol2num6/Revista\\_de\\_Ingenier%C3%ADa\\_Industrial\\_V2\\_N6\\_4.pdf](http://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Industrial/vol2num6/Revista_de_Ingenier%C3%ADa_Industrial_V2_N6_4.pdf)
- De la Guerra, J.P. (2015). *Las siete herramientas de la calidad*. España: UDEA.
- Esquivel, A., León, R., & Castellanos, G. (2017). Mejora continua de los procesos de gestión del conocimiento en instituciones de educación superior ecuatorianas. *Retos de la dirección*, 11(2), 56-72. <http://scielo.sld.cu/pdf/rdir/v11n2/rdir05217.pdf>
- García, R. A. (2015). Análisis del comportamiento de los frenos de disco de los vehículos a partir de la aceleración del proceso de corrosión. *Tecnura*, 19(45), 53-63. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.3.a04>

- Leyva, J. (2018). *Modelado del proceso de maquinado ECDM mediante lógica difusa* [Tesis de maestría]. Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, México. Repositorio COMIMSA. <http://comimsa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1022/323>
- Manel. J (2015) ¿Qué es el modelo Lean o de Producción ajustada? Preven Blog. Barcelona. Recuperado de: <https://prevenblog.com/que-es-el-modelo-lean-o-de-produccion-ajustada/>
- Statista. (2021). Valor de las exportaciones del sector automotriz en México de enero de 2019 a agosto de 2021. Recuperado de <https://es.statista.com/estadisticas/643110/valor-de-las-exportaciones-de-la-industria-automotriz-mexico/>
- Szász, L., Csíki, O., & Rácz, B. G. (2021). Sustainability management in the global automotive industry: A theoretical model and survey study. *International Journal of Production Economics*, 235, 108085. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108085>
- Tanos, S. (2010). *Modelo de análisis de nivel de servicios. Evaluación de ventajas competitivas mediante la auditoría de servicios* [tesis de maestría]. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Repositorio académico digital. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/832>
- Tovar. B. (2014). *Aplicación de six sigma a devoluciones de clientes en comercialización de autopartes no originales* [Tesis de maestría]. CIATEC, México. Repositorio institucional. <https://ciatec.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1019/19/1/Tesis-Blanca%20Esthela%20Tovar.pdf>