

Implementación de DMAIC para la reducción de Scrap: Un caso de estudio Implementation of DMAIC for Scrap reduction: A case study

Gaudencio Antonio-Benito ^{a,*}, Eduardo Franco-Austria ^a, Bernardino Ávila-Martínez ^a

^a División de Ingeniería Industrial, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tamazunchale SLP, 79960, Tamazunchale, San Luis Potosí, México.

Resumen

Esta investigación implementó la metodología de Definición, Medición, Análisis, Mejora y Control (DMAIC) de Seis Sigma como una estrategia de mejora adaptada a los procesos de producción en una empresa dedicada a la fabricación de moldes, inyección de plásticos y ensambles del sector automotriz. El caso de estudio se desarrolló en el área de producción donde el problema hallado fue el Scrap que se generaba en un número de parte. Se identificó que por cada 7082 piezas que se fabricaban, 1216 se desechaban por piezas con rebaba, incompletas, sin inserto y/o contaminadas, es decir, existía un Scrap de 17.2 %. El objetivo del departamento fue minimizar los desperdicios hasta un 8.6 %, por lo se aplicó un dispositivo alimentador de vibración para tornillos (bowl), un brazo robótico y se colocaron sistemas Andon, este último es parte de Lean Manufacturing pues minimiza los errores en el flujo de producción; logrando una disminución del tiempo ciclo, mayor producción de piezas por hora, eliminación de los despilfarros de piezas sin tuerca, contaminación y se redujo la cantidad de piezas incompletas superando el objetivo.

Palabras Clave: DMAIC, Proceso, Inyección, Scrap, Andon.

Abstract

This research implemented the Definition, Measurement, Analysis, Improvement and Control (DMAIC) methodology of Six Sigma as an improvement strategy adapted to the production processes in a company dedicated to the manufacture of molds, plastic injection and assemblies in the automotive sector. The case study was developed in the production area where the problem was found was Scrap that was generated in a part number. It was identified that for every 7,082 pieces that were manufactured, 1,216 were discarded due to pieces with burrs, incomplete, without inserts, and/or contaminated, that is, there was a Scrap of 17.2%. The objective of the department was to minimize waste up to 8.6%, so a vibration feeding device for screws (bowl), a robotic arm and Andon systems were placed, the latter is part of Lean Manufacturing as it minimizes errors in the production flow; achieving a reduction in cycle time, greater production of parts per hour, elimination of waste of parts without nuts, contamination and the number of incomplete parts was reduced, exceeding the objective.

Keywords: DMAIC, Process, Injection, Scrap, Andon

1. Introducción

El objetivo de cualquier empresa es producir generando la menor cantidad de desperdicios (Fraga, 2023), para ello, existen diversas metodologías que permiten lograrlo, dentro de las cuales se encuentra la metodología Seis Sigma la cual tuvo su origen en 1980 en la empresa Motorola una vez que el ingeniero Mikel Harry analizará la variación de los procesos en dicha empresa, tomando como símbolo la letra griega “sigma” que proporciona una forma de cuantificar la variación

(Contreras, 2023). Dicha metodología busca minimizar la variación de los procesos y productos a través del seguimiento de cada actividad, el uso de herramientas estadísticas y la gestión de la calidad (Pérez, Ortega, Camargo y Morales, 2023) a fin de satisfacer al cliente mediante la disminución de desperdicios y uso de recursos (Hernández, 2021). Para lo anterior, se hace uso de la metodología DMAIC la cual su principal ventaja es que se puede reiniciar ya que se trata de un ciclo que consta en Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (Huayapa, Mamani, San Roman, Casapino y

*Autor para la correspondencia: gaudencio.ab@tamazunchale.tecnm.mx

Correo electrónico: gaudencio.ab@tamazunchale.tecnm.mx (Gaudencio Antonio-Benito), bernardino.am@tamazunchale.tecnm.mx (Bernardino Ávila-Martínez), eduardo.fa@tamazunchale.tecnm.mx (Eduardo Franco-Austria).

Historial del manuscrito: recibido el 04/06/2024, última versión-revisada recibida el 28/08/2024, aceptado el 28/08/2024, publicado el 14/11/2024. DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial3.13169>



Bellido, 2023). En este mismo sentido Cruz (2023) menciona que la etapa de Definir consiste en fijar los resultados a alcanzar mediante el establecimiento del problema a través del uso de herramientas que permitan identificar las causas del mismo. La siguiente etapa; Medir, hace uso de diagramas de Pareto, gráficos de control, análisis de tiempo de valor, por mencionar algunas, ya que en esta etapa se recolectan, de preferencia de manera cuantitativa (Nadiyah & Dewi, 2022), datos que permitan visualizar el escenario actual y a posterior estar en condiciones de realizar un comparativo en base a mejoras (Escobedo, 2021). Mientras que las etapas de Analizar y Mejorar consisten en determinar el problema desde la raíz a través de la confirmación de datos e implementar remedios que eliminen o minimicen las causas del problema, respectivamente (Flores, Alvarado, Vázquez y García, 2019). Por último, se debe verificar que los remedios implementados hayan sido exitosos mediante un plan de control que mantenga el proceso o producto en una mejora constante (Gaibor, Smith y Rodríguez, 2022).

En este mismo sentido, varias han sido las empresas que han aplicado esta metodología, como el caso explicado por Leyva y Esquivas (2020) los cuales analizaron un proceso de poliestireno expandido (EPS) donde se determinó que el proceso de moldeo es la etapa donde mayor desperdicio se presenta específicamente en los moldes; pikachu, spoon y sax donde las fallas recurrentes eran; falta de llenado y pobre fusión. Un caso similar lo realizaron Feijóo Loayza y López (2021) los cuales tuvieron como objetivo analizar el área de extrusión de una empresa de extrusión y conversión de productos de polietileno de baja y alta densidad, para ello usaron el diagrama SIPOC (Proveedor, entradas, procesos, salidas y clientes o consumidores), 3W y 2H, project charter, diagrama de Pareto, diagrama de flujo de proceso, pruebas de hipótesis, índices de capacidad de proceso (cpk), diagrama causa efecto, los 5 por qué y la matriz de priorización de soluciones, una vez implementadas las mejoras se logró reducir el Scrap de 4.85% a 2.25%.

Felix, Cruz y Delgado (2020) aplicaron la metodología DMAIC en el remanufacturado de ejes y ruedas en una industria ferroviaria, para ello aplicaron diversas herramientas de lean manufacturing, que buscan la eliminación de desperdicios o de actividades que no agregan valor, como; Kaizen, mapeo de la cadena de valor (VSM), 5'S y trabajo estándar, analizando los tiempos de valor agregado y no valor agregado así como la eficiencia del proceso logrando un ahorro del 23.03% en el tiempo de ciclo laboral.

Por su parte, Silva, Picón y López (2022) analizaron la aparición de burbujas y bolas en el proceso de soldado de tablillas electrónicas utilizando la metodología DMAIC y el Diseño de Experimentos, para ello consideraron factores como; temperatura de precalentado, distancia y velocidad de soldado así como las tablillas de dos proveedores, encontrándose que la rugosidad en la tablilla de uno de los proveedores ocasionaban los defectos mencionados, como solución se estableció una nueva temperatura de precalentado aumentándola de 340 a 440 °C generando un ahorro proyectado de 276 200 dólares anuales por este defecto.

Un caso similar lo realizó Aguirre, Rodríguez, Mendiola, Rodríguez J. y Zubirías (2022) los cuales analizaron una línea automotriz para reducir el Scrap generado por soldadura quemada ya que de las 46155 piezas producidas 10563

pertenecían a este defecto, una vez implementadas las mejoras se logró reducir la cantidad de Scrap en un 50%.

Chávez, Santiesteban, González, Fierro y Luna (2022) analizaron el proceso de barrenado de discos para frenos, en una empresa del sector automotriz, puesto que el número de piezas rechazadas estaban fuera de especificación (barrenos desfasados) superaron en los últimos meses el porcentaje permitido, para disminuir esta situación se hizo uso de la metodología DMAIC y el AMEF, una vez implementadas las mejoras se redujeron a 2 el número de alertas de calidad pasando de ser un proceso no competitivo a uno de baja competitividad, existiendo áreas de mejora continua. En este mismo sector Merjil, Chávez, González, Castellanos, y Martínez (2021) realizaron un estudio sobre cerraduras automotrices donde el principal defecto era “falla de reversa”; una vez implementadas las mejoras se redujeron de 6298 a 651 piezas defectuosas, dejando de ser el defecto “falla de reversa” el primer lugar reduciéndose en un 30% su influencia en el número de defectos al pasar de 43.6% a 11.2%.

Por otro lado, la evolución de Seis Sigma y DMAIC debe ser prioritario en las empresas manufactureras (Sundram, Ghapar, Osman, Lian & Muhammad, 2023); para que estas puedan ser reconocidas competitivamente con respecto a otras de su mismo giro deben implementar con éxito la Calidad 4.0, sin embargo, su implementación exitosa plantea uno de los retos más relevantes para la Industria 4.0, al evolucionar ayudará a los responsables de la toma de decisiones en materia de calidad a mejorar la situación actual de sus respectivas organizaciones (Escobar, Macias, McGovern, Hernández & Morales, 2022).

2. Metodología

El procedimiento del proyecto consta de cinco fases de la metodología DMAIC que se utiliza en la filosofía de Seis Sigma y en cada uno de ellos se desarrollan propuestas que permiten lograr el objetivo. A continuación, se escriben los pasos.

En la fase de Definición se definieron las métricas de la investigación, evidenciando todas las variables con la finalidad de tener presente el tema de interés y conocer el contexto de la situación; se describe el título, objetivos de la implementación, alcance del proyecto que se ejecutará y el análisis histórico del área producción donde se trabajará con el proyecto.

La fase Medir, se buscó mejorar el entendimiento del proceso, validar métricas, verificar que variables es posible su medición, identificando de forma visual el origen del Scrap.

En la etapa Analizar, se conocieron las causas principales que provocan las situaciones analizadas en la fase Medir, en esta etapa se deben identificar las causas del problema por lo que se recurren a métodos cualitativos para hallarlas.

En la cuarta etapa Mejorar se atacaron las situaciones que estaban haciendo vulnerables al proceso, se realizaron acciones preventivas y correctivas haciendo que disminuyan los defectos que generaban el Scrap, algunas acciones fueron de la filosofía Lean Manufacturing.

Ya en la fase final, Controlar, se estandarizó el proceso utilizando cartas de control, también se realizaron actividades para estandarizar las propuestas de mejora haciéndolo un proceso repetitivo que pueda convertirse en una buena disciplina de acciones que ayuden a mejorar las condiciones de trabajo reduciendo mermas futuras.

3. Resultados

3.1. Fase 1 etapa Definir

Título: Mejorar el proceso de fabricación del número de parte específico con mayor importancia y ganancia económica para la empresa.

Objetivo o propósito: Reducir el porcentaje general de Scrap a un 50% al finalizar el proyecto.

Problemáticas: El proceso de inyección de la pieza actualmente es semiautomático; mediante gráficos de producto no conforme se han observado muchos imperfectos, mostrando datos atípicos (altos Scrap) por piezas sin inserto, piezas incompletas y piezas contaminadas. Variabilidad en el diámetro de la tuerca, lo que implica que la pieza salga incompleta y se realice una reprocesamiento de la inyección. Condensación de la parte fija del molde, lo que provoca la corrosión en los canales de inyección, teniendo como consecuente piezas contaminadas. Proceso semiautomático, que precisa la asistencia de un operador quien realice la colocación de tuerca, quien en ocasiones no la coloca por su habilidad trayecto como resultado piezas sin inserto

Alcance: El proyecto se enfocará en el área de producción en los procesos que se requieren para la fabricación del número de parte de la máquina procesadora exclusivamente para una máquina. Históricamente el número de parte que se analizó es una de las piezas que consume material en grandes cantidades, por lo que se encontró en el top 1 en **términos** de costos y volumen acumulado en kg de Scrap, por lo cual su costo de fabricación y su desperdicio es bastante significativo. En la figura 1, se visualiza el comportamiento de la pieza a lo largo de las semanas de análisis donde el mayor dato se muestra con un 53.9% de Scrap (semana 7), puede notarse que no es un proceso estable y los puntos están por arriba de lo deseado. La investigación mostró que la causa raíz del despilfarro en el número de parte fueron:

Scrap por bancada: Son todas aquellas piezas, ya sea que se trabaje en proceso automático o semiautomático e incluso manual, al ser expulsadas por el robot o los botadores caen fuera del recipiente y se contaminan con líquidos de la superficie como aceite.



Figura 1: Comportamiento de las piezas y % de Scrap en treinta semanas de observación.

Scrap por operador: Este criterio es considerado cuando la máquina trabaja en un proceso semiautomático, es decir, se requiere el 100% de la habilidad del operador para insertar las tuercas en la parte fija del molde en cada ciclo.

Scrap por selección del dispositivo: Es considerado cuando se trabaja con un brazo robótico, es decir, este pone las tuercas y recoge la pieza hasta dejarlas en la bandeja, del mismo modo este, está configurado para separar las cavidades, lados izquierdos y derechos, pero en ocasiones las arroja al Scrap por la contaminación o lo incompleto de una pieza. Se realizó un muestreo por turno de trabajo para el análisis del Scrap originada en la máquina procesadora, los resultados se observan en gráfico de Pareto la figura 2.

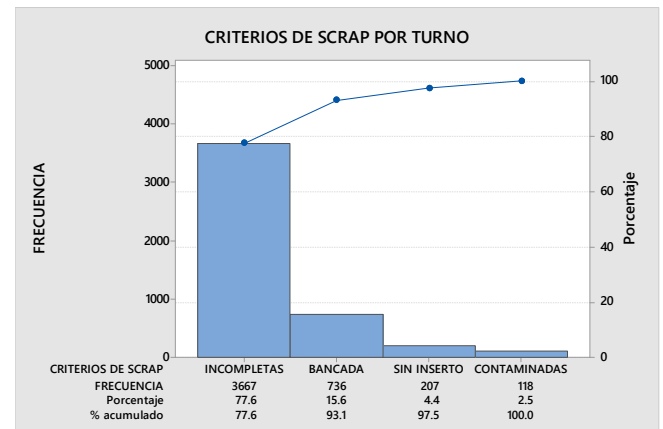


Figura 2: Gráfico de Pareto para identificar la frecuencia de los criterios del Scrap por turno

En la figura 2 se reflejan los criterios donde se evidencia que el Scrap por “Incompletas” es la más crítica, sin embargo en cada uno de ellos pueden ser generados por diversos motivos que en ocasiones no suelen ser constantes pero si existentes, en la figura 3 se muestra un Pareto de manera general, se puede notar la inestabilidad entre el tono naranja que representa la variable selección del robot, el tono azul quien es ocasionado por el operador y el punto medio entre estas dos situaciones es la bancada, puesto que sigue presente a pesar de los 2 diferentes formas de trabajo. Las piezas consideradas Scrap en el proceso de inyección de la pieza se clasifica por diferentes causas mismas que se observan en la figura 2 y en la tabla 1 describen los criterios de calidad, la evidencia encontrada y su explicación. Aun cuando el número variables más críticas y las que mayores porcentajes de Scrap, de acuerdo con lo analizando en esta etapa de DMAIC si el proceso se analiza y se atiende el problema de la automatización se reduciría los demás defectos secundarios.

En la investigación se realizaron recorridos Gemba detectando que la habilidad del operador influye en el porcentaje de piezas “no ok”, es decir, nula productividad por turno de trabajo. El proceso de inyección es semiautomático se observó que los operadores tienen que poner el inserto o tuerca en el molde en cada ciclo de la pieza, ocasionando que salgan piezas sin tuerca, así mismo se detectaron piezas incompletas esto se debe a los ajustes del proceso de inyección de la máquina. Se detectó que la contaminación de las piezas es ocasionada cuando estas son expulsadas por los botadores haciendo que caigan fuera del contenedor, provocando que se empapen de aceite.

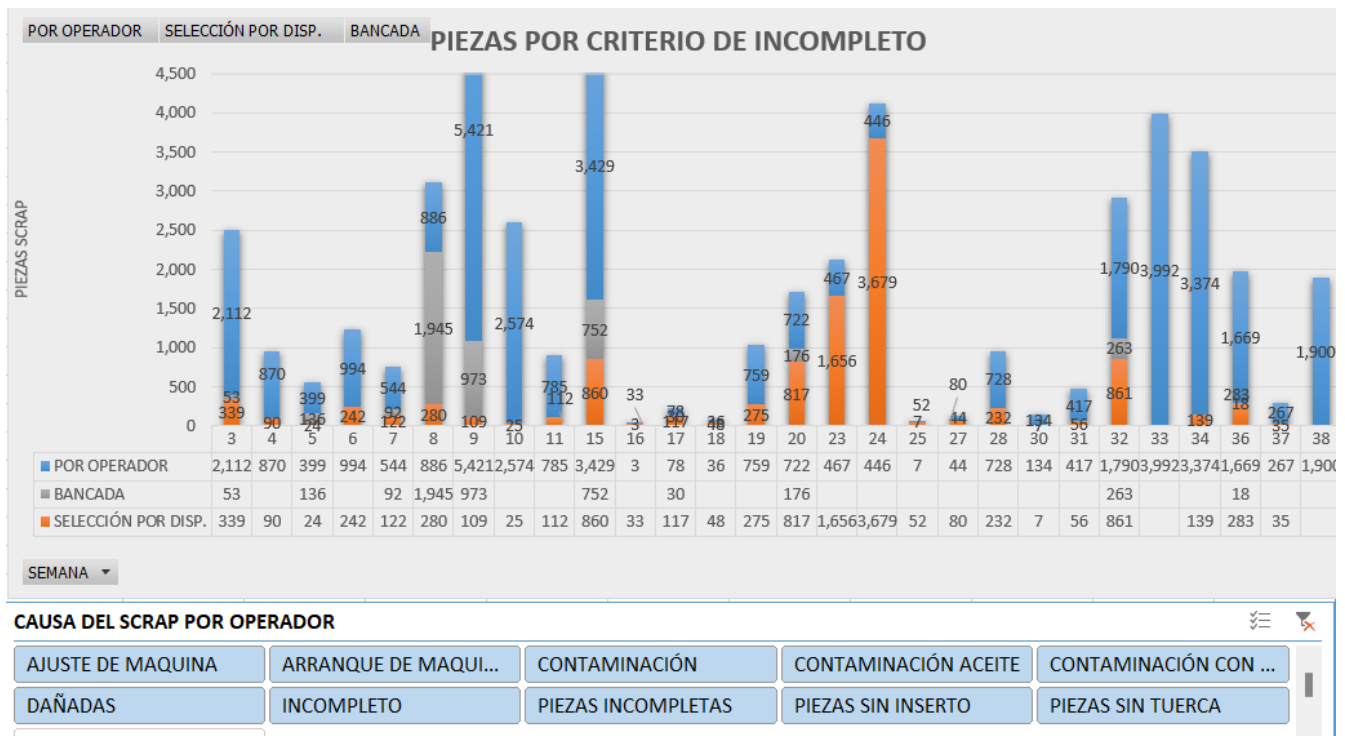


Figura 3: Causas del Scrap por bancada, operador, dispositivo y otros.

Las piezas sin tuerca es uno de los defectos más críticos, se observó que durante la inyección las piezas tienen que ser inspeccionadas por un operador haciendo pasar todas las piezas por un analizador (gage) y posteriormente por un tornillo, este procedimiento hace que el operario acepte piezas defectuosas. Se halló un nulo conocimiento en el llenado de los formatos donde se anotan los defectos; también los operadores tienen que pasar por 18 líneas de producción, algunos operan máquinas sin conocimiento y experiencia, teniendo como resultado piezas sin inserto.

3.2. Fase 2 etapa Medir

Se evaluó de forma individual el origen del Scrap de la pieza. En el Pareto de la figura 4 se visualiza que el existe variación cuando es manipulado por el operador con un porcentaje acumulado del 45%. El proceso de moldeo por inyección trabaja con 4 cavidades (por cada ciclo de inyección se expulsan 4 piezas), las piezas que salen en las cavidades fueron analizadas y se observó que las piezas expulsadas de la cavidad 2 presentan más del 70% del Scrap total (ver figura 5) (aproximadamente 320 piezas por turno con diferentes criterios de Scrap salen de la cavidad 2). De acuerdo a Gemba en el proceso de inyección se identificó 4 factores controlables que pueden inferir de manera directa en la generación de Scrap, siendo estas la temperatura, la presión, el tiempo y la distancia.

Por otro lado, las piezas contaminadas alcanzaron un 11% de producto no conforme sobre la producción total, en la figura 6 se analizó este defecto aportado más del 60% de los defectos totales siendo este el operador que aporta el porcentaje del Scrap.

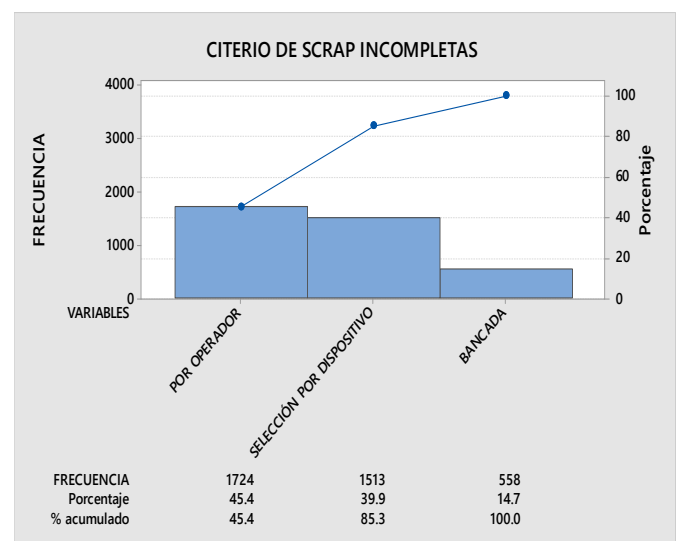


Figura 4: Gráfico de Pareto para identificar la frecuencia de los criterios del Scrap por turno.

En el análisis de las piezas sin insertos (figura 7), se estableció que, por cada orden de 30000 piezas, 6480 (21%) fueron clasificados por falla de robot y 2371 (8%) piezas como consecuencia de una mala operación por el operario. Las piezas sin inserto se relacionan con la habilidad del operador, es decir, al ser un proceso manual requiere la asistencia total de un colaborador quien inserte la tuerca en cada ciclo de la máquina.

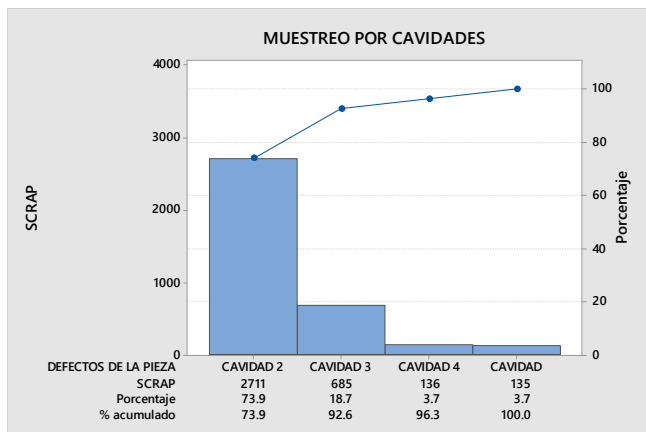


Figura 5: Gráfico de Pareto para identificar la frecuencia del Scrap por cavidad del molde.

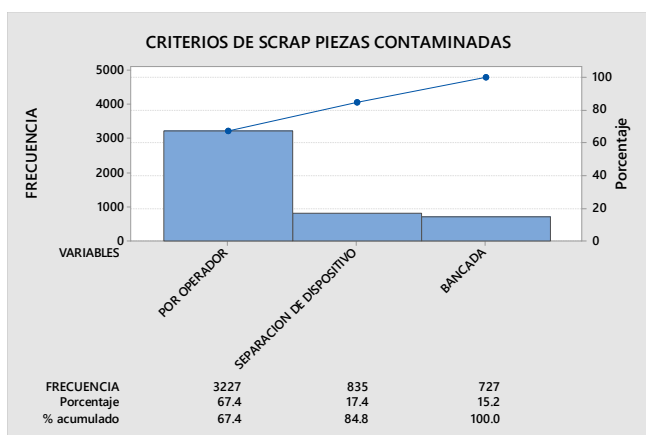


Figura 6: Gráfico de Pareto para identificar la frecuencia del Scrap por variable en el proceso.

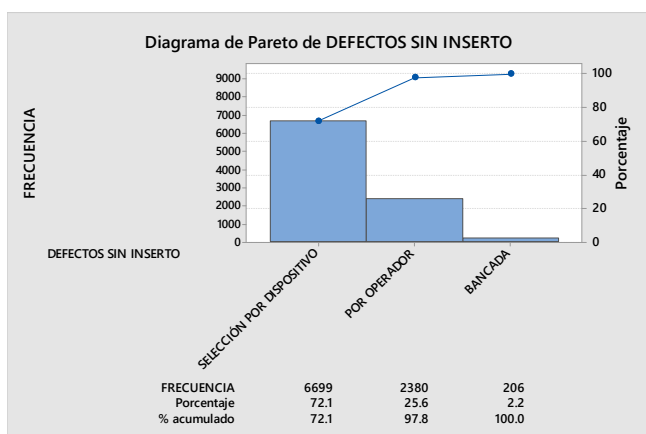


Figura 7: Gráfico de Pareto para identificar la frecuencia del Scrap por variable en el proceso.

3.3. Fase 3 etapa Analizar

Mediante una lluvia de idea conformado por las partes involucradas en el proceso se realizó un diagrama causa-efecto para la identificar las variables que están causando el problema.

Tabla 1: Descripción de la evidencia en las piezas para Scrap.

Evidencia	Descripción
Selección por dispositivo	Estas piezas son programadas en los arranques de máquina y en cada reinicio. Son 3 tiros los que son clasificados como Scrap para asegurar al cliente que se le realizan los ajustes correspondientes antes de iniciar el proceso.
Incompleto	Se visualiza en la parte del inserto la falta de materia, se refleja con porosidades, esto debido al momento de la inyección no se ejerce fuerza suficiente.
Piezas en bancada	Son aquellas que caen fuera del recipiente dentro de la máquina, al momento de ser expulsados por los botadores del molde y se manchan por las sustancias en el área.
Sin inserto	Se realizar mediante un proceso semiautomático o automático; se coloca la tuerca en los pistones del molde y en ocasiones no se coloca o no se sitúa bien, esto hace que al momento de la vibración al cerrarse se caigan.
Contaminación	Se debe a la falta de limpieza del molde antes de la inyección, puesto que se corroe al estar en contacto con gotas de agua.
Dañadas	La pieza debe ser inspeccionada y si cumple con los criterios del cliente se debe certificar con un Paint para asegurarle al cliente que se realizó esta actividad; en ocasiones se derraman el líquido y se mancha la pieza

En la figura 8 muestra el diagrama de Ishikawa evaluando la mano de obra, el método, la maquinaria y los materiales, usando el método de los 5W (5 porqués) con el personal, se procedió a plantear la pregunta ¿Por qué en cada corrida se tienen piezas sin tuerca (sin inserto)?, las respuestas fueron porque el operador no lo coloca bien; porque el diámetro interno de la tuerca es menor al diámetro que la parte fija del molde; porque se dio una tolerancia amplia para el diámetro interno de la tuerca. Como solución el equipo de investigación propuso revalidar la disminución del espesor (reduciendo a 0.151 mm) o buscar un proveedor alternativo. Con la misma mecánica el equipo de investigación formuló la pregunta ¿Por qué surge la contaminación en el proceso de inyección? Y mediante el diagrama de Ishikawa y los 5W, se encontró que las respuestas son, porque se contaminan de aceite y suciedad; porque algunas piezas caen fuera de la bancada por la fuerza de expulsión de los botadores; porque no se cuenta con rampas interiores para la bandeja.

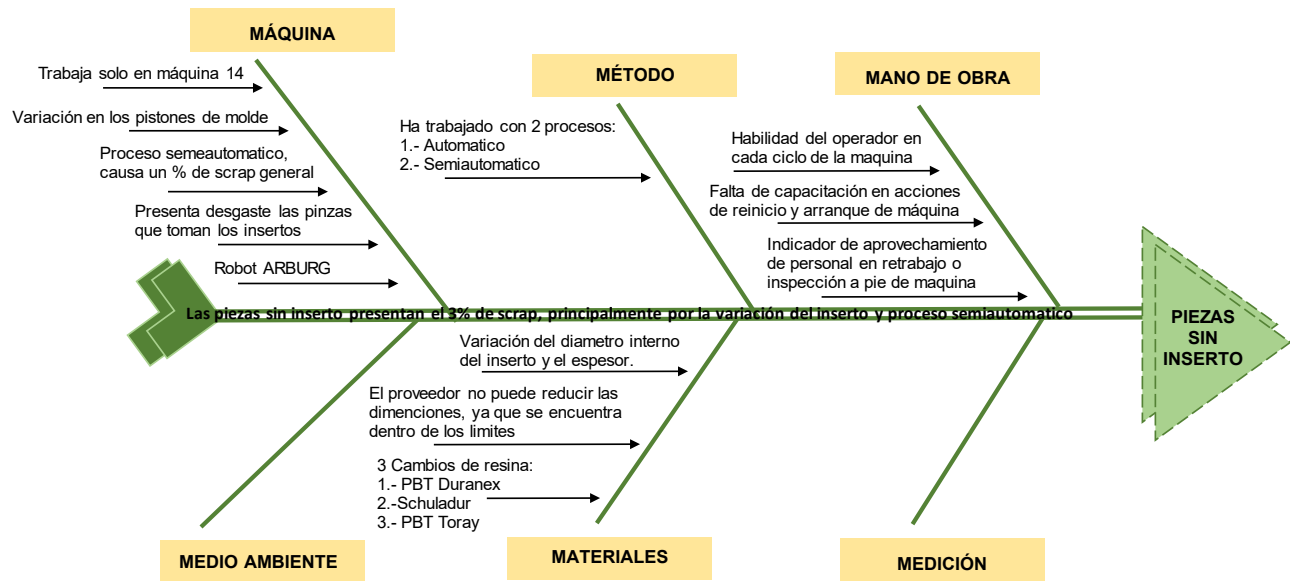


Figura 8: Diagrama de Ishikawa para las piezas sin inserto.

Como solución se propuso colocar rampas guías para la salida de la pieza; realizar hojas de instrucción validado por personal de producción y taller de moldes; programar las actividades de ajustadores en el montaje y purgado de máquina. Para la causa raíz del Scrap por piezas incompletas, se encontró que las soluciones son: reemplazar el material por otros con propiedades específicas de limpieza del husillo; tomar tiempo de vida de los botadores, para programarlos y evitar el desgaste; inspeccionar el purgado después de 5 min de apagado de la máquina.

3.4. Fase 4 etapa Mejorar

3.4.1. Mantenimiento preventivo y correctivo en talleres de moldes



Figura 9: Oxido presente en las cavidades del molde después de 48 semanas sin mantenimiento.

Como estrategia, durante la purga (limpieza profunda) de los husillos fue necesario cambiar el material de PBT

(Tereftalato de Polibutileno) natural por otro, realizando una limpieza de pigmento eficaz, absorbiendo todos los contaminantes. También en esta etapa, se implementó la opción de surtir el material en gaylors (contenedor bulk plegable, reutilizable y resistente) cerrados cuando se requiera fabricar volúmenes grandes (ver figura 10 a)) y bins (contenedores plásticos de almacenamiento industrial) cerrados para evitar utilizar cajas convencionales (ver figura 10 b)), en donde es más propenso la contaminación de las piezas; se especificó que es necesaria una limpieza de los equipos antes de ser llenados, para que existan mezclas con otro tipo de pellets o materiales pigmentados que son difícil de separar y provocando afectaciones a la resina, aunado a esto se propuso el uso de mangueras para el suministro del material hacia el secador (ver figura 10).

3.4.2. Sistema ANDON para el secado del material.

El sistema andón es cualquier mecanismo del proceso de Manufactura Lean que ayude a evitar errores. En esta investigación su propósito fue enviar una alerta que evitó acciones fuera de control para el proceso de secado del material; el equipo tecnológico que se diseñó cuenta con el paquete de sistematización que permite programar las horas de secado emitiendo señales de espera y reteniendo la resina en el secador hasta que se encuentre en las condiciones solicitadas, luego este es succionado por las mangueras y transferido a la tolva de la máquina que solicita.

3.4.3. Balanceo de cavidades

Se encontró que en la hoja de parámetros del proceso de inyección de plástico, se tienen los siguientes parámetros, etapa de inyección de 12.73 mm, flujo de inyección de 27 ccm/s, presión de inyección de 1200 bares, punto de conmutación de 16 ccm, es decir, el objetivo era llenar las cavidades en el menor tiempo posible, sin embargo para el ciclo alto con el que se contaba no se lograba la homogenización total del material provocando un tiempo de

inyección de 3.37 segundos lo que implicaba que el material se enfriara durante la inyección, teniendo cavidades menos llenas que otras.

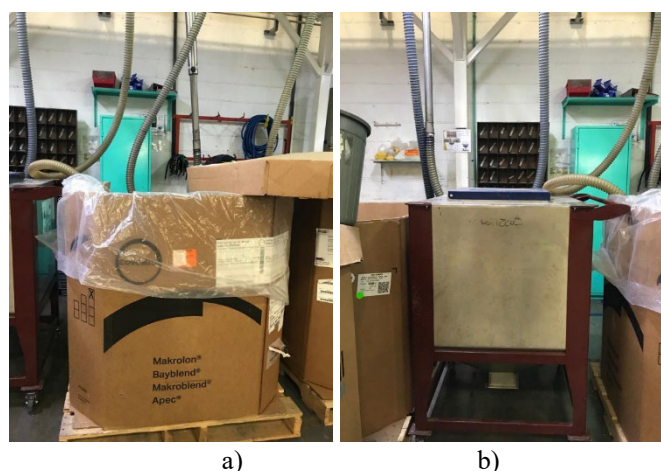


Figura 10: a) Suministro de material mediante mangueras y uso de gaylors; b) Suministro de material mediante mangueras y uso de bins cerrados.

Los ajustes realizados en los parámetros fueron, velocidad y el flujo con el cual se requería llenar se realizó de manera prolongada, el tiempo de inyección se redujo al 1.08 segundos, con un flujo de inyección de 52.78 y 33.93 ccm/s (en dos etapas respectivamente), con dicho aumento en la velocidad, hubo un llenado más exacto. El punto de conmutación se elevó a 37.7 y 24.5 ccm, con las modificaciones anteriores las piezas mejoraron en su totalidad en todas las cavidades.

3.4.4. Implementación de un proceso semiautomatizado para colocación de pieza

Mediante un análisis se percató que este defecto no se debía a temas de proceso ya que como tal el proceso de inyección se encontraba estable, es decir, la máquina no se alarmaba ni tenía paros excepto por temas de operador. Se observó que la mayoría de las piezas que se consideraban incompletas por la porosidad en el acabado del inserto, eran por la posición de la tuerca, en la figura 11 se aprecia los bordes del grabado de este producto, considerando que la flecha en color verde es aceptable y la flecha de color rojo no es aceptable.

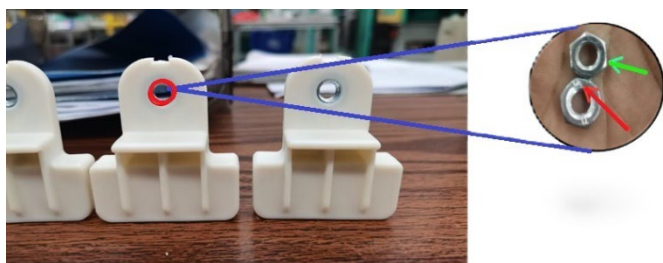


Figura 11: Pieza aceptables y no aceptables por defectos de porosidad en el acabado del inserto de forma semiautomatizada.

Según el análisis para este tipo de Scrap se desglosa en 2 variables, la habilidad del operador en la colocación de la tuerca y la variación del diámetro. Esta es la razón principal ya que al requerirse su función suele ser mayor que el diámetro

del inserto de la parte fija, por lo tanto, al cerrar el molde termina cayéndose por las vibraciones que emite en cada etapa.

Tomando en cuenta el 5W, las mejoras son, la reducción de las velocidades del cierre, este además de requerir una menor vibración también se considera un mantenimiento de máquina en el cuidado de las partes internas del molde, puesto que al tener un cierre más ligero los pernos guías se introducen correctamente en los carros sin dañarlos; el ajuste en la fuerza produjo menor vibración, reduciendo 5 y 2 kN en las fases y un cierre final más lento con una velocidad de 100 mm/s. Se implementó el prototipo utilizando un brazo robótico para suplir al operador de colocar las tuercas, así como mantener mayor precisión en la colocación de la pieza final en los recipientes de producto terminado, evitando contaminaciones de residuos.

Con la aplicación del robot se logró disminuir los criterios de piezas sin inserto asegurando la correcta colocación, se ha descartado el defecto de piezas sin inserto (ocasionado por los reinicios de máquina), y los descuidos del operador, así mismo con el mantenimiento constante por parte del equipo de taller y ajustadores, se ha disminuido las piezas contaminadas.

3.5. Fase 5 etapa Controlar

Se diseñó e implementó un formato tomando en cuenta a las partes interesadas específicamente en el área de producción (gerente, supervisor, planeador, coordinador, ajustador, técnico de taller de molde), se dio a conocer con el personal, esta información se colocó en la máquina con la instrucción de, una vez bajado el molde el ajustador debe de pasarlo a taller para que pueda realizarse el mantenimiento preventivo.

La implementación de un sistema ANDON permitió una comunicación visual y auditivo, esto mediante la activación de la alarma y visualización de la torreta en rojo el cual fue de apoyo para los supervisores, ajustadores, incluso para los operadores en el control del proceso. Así se logró una actividad persistente y un hábito con el personal de cada turno, evitando tiempos muertos por ajustes de proceso o una intervención por parte de mantenimiento.

La capacitación del personal permitió controlar mejor el proceso, por lo que el supervisor se le encargó que mostrara la manera correcta y funcional de la operación en cada turno y se lograra replicar las actividades de mejora.

Conclusiones

La línea de inyección de plástico para la fabricación del número de parte máquina procesadora en la empresa donde se desarrolló el proyecto de investigación contaba con un proceso semiautomático el cual tenía una variabilidad del ciclo de 42 segundos teniendo un plan por hora de 342 piezas por hora, con la implementación de la metodología se redujo a 25 segundos generando 576 piezas por hora. Con este proyecto se ajustaron parámetros para estabilizar el proceso y volverlo más repetitivo disminuyendo el porcentaje de Scrap al 2.5 % rebasando el objetivo propuesto. Además de eliminar los retrabajos con la implementación de un operador fijo a pie de máquina, terminado a final del turno y asegurar las entregas en tiempo y forma garantizando un buen servicio y producto al

cliente, aminorando costos de doble embarque, tiempos extra para el retrabajo y produciendo el doble con un margen de error mínimo.

Referencias

- Aguirre, V. V. S., Rodríguez, M. A. M., Mendiola, C. E. G., Rodríguez, J. A. M., & Zubirías, G. C. (2022). Aplicación de la metodología Six Sigma modelo DMAIC para optimización aplicada en una compañía automotriz de la zona fronteriza de Tamaulipas. *Multidisciplinas de la Ingeniería*, 10(15), 35-44.
- Chávez Medina, J., Santiesteban, N. A., González Manzanilla, F. O., Fierro-Xochitotl, M. C., & Luna Fernández, V. G. (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).
- Contreras Soto M. A. (2023). Implementación de la metodología DMAIC en una empresa de elaboración de bobinas para secadoras. Tesis. Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez.
- Cruz Vicencio, M. G. (2023). Reducción de defectivo interno en el área de costura volante implementando la metodología DMAIC.
- Escobar, C. A., Macias, D., McGovern, M., Hernandez-de-Menendez, M., & Morales-Menendez, R. (2022). Quality 4.0—an evolution of Six Sigma DMAIC. *International journal of lean six sigma*, 13(6), 1200-1238.
- Escobedo, M. T. (2021). Metodología para alcanzar la meta de producción para máquina Spot 6. *Instituto de Ingeniería y Tecnología*.
- Feijóo Loayza, M. R., & López, S. (2021). *Disminución del porcentaje de scrap en una fábrica de fundas y rollos plásticos aplicando herramientas de mejora alineadas a la metodología DMAIC* (Doctoral dissertation, ESPOL. FIMCP).
- FÉLIX-JÁQUEZ, R. H., CRUZ-RENTERÍA, M. M., & DELGADO-CELIS, M. (2020). Implementación de herramientas de manufactura esbelta en una empresa de mantenimiento y servicio de locomotoras Implementation of lean manufacturing tools in a locomotive maintenance and service company. *Revista de Operaciones Tecnológicas*, 4(14), 32-39.
- Flores, M. D. C. M., Alvarado, F. B., Vázquez, N. A. R., & García, R. D. (2019) Reducción de Re-trabajo en el Pulido de Body Color 1 utilizando la metodología Seis Sigma. *Revista Capital Intelectual* (10).
- Fraga Martínez, M. A. (2023). *Aplicación de la metodología lean manufacturing en el proceso de la elaboración del suplemento nutricional Vita Collagen-c de la empresa Savalet* (Bachelor's thesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo).
- Gaibor Angulo, G. M., Smith Tapia, A. B., & Rodríguez Zurita, M. D. (2022). *Reducción de desperdicios en el área de sellado de una empresa de productos plásticos* (Doctoral dissertation, ESPOL. FIMCP).
- Hernández, A. (2021). Mejora de nivel de desperdicio de un proceso de fabricación de sensores de temperatura aplicando un enfoque DMAIC. *Instituto de Ingeniería y Tecnología*.
- Huayapa, M. A. C., Mamani, R. A. M., San Román, C. M. R., Casapino, J. W. F., & Bellido, N. H. Q. (2023). Análisis de la aplicación de metodología DMAIC en procesos de producción de una empresa de alimento. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 6907-6932.
- Leyva, J. S., & Esquivias, M. T. (2020). ANÁLISIS DEL PROCESO DE MANUFACTURA PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC EN UNA EMPRESA DE PLÁSTICOS (ANALYSIS OF THE MANUFACTURING PROCESS FOR THE APPLICATION OF THE DMAIC METHODOLOGY IN A PLASTICS COMPANY). *Pistas Educativas*, 42(136).
- Merjil, J. F. C., Chávez, A. V., González, M. P., Castellanos, H. G., & Martínez, R. M. R. (2021). APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC DE SEIS SIGMA PARA LA REDUCCIÓN DE DEFECTOS DE CERRADURAS AUTOMOTRICES. *Revista IPSUMTEC*, 4(3), 9-18.
- Nadiyah, K., & Dewi, G. S. (2022). Quality Control Analysis Using Flowchart, Check Sheet, P-Chart, Pareto Diagram and Fishbone Diagram. *OPSI*, 15(2), 183-188.
- Pérez, J. V., Ortega, A. G. L., Camargo, A. F., & Morales, B. Y. G. (2023). Aplicación de la metodología DMAIC para mejorar el proceso de fabricación de reguladores en la industria automotriz. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 3885-3902.
- Silva, G. V., Picón, L. A. R., & López, R. R. (2022). Implementación de metodología Seis Sigma para la solución de bolas de soldadura en tabilllas electrónicas. *Cultura Científica y Tecnológica*, 19(3), 41-54.
- Sundram, V. P. K., Ghapar, F., Osman, M. F., Lian, C. L., & Muhammad, A. (2023). Lean Six-Sigma Approach for Sub-Contract Licensing and its Process Improvement across the Manufacturing Supply Chain using GUT Priority Matrix. *Information Management and Business Review*, 15(2 (I SI), 1-8.