



**TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO**



Instituto Tecnológico de Apizaco

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Apizaco

Departamento de Eléctrica y Electrónica

**“Optimización de tiempos ciclos en máquinas de inyección
con el tonelaje 550 a 3300 en el área de producción”**

Memoria de Residencias Profesionales

Que para obtener el título de
Ingeniería en sistemas automotrices

Presenta:

Luis Adrian Flores Villanueva

Asesor:

Juan Manuel García Barrios

Apizaco, Tlaxcala, México

Diciembre 2025

Agradecimientos

En primer lugar, deseo expresar mi profunda gratitud a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada etapa de este camino. Gracias por brindarme la salud, la serenidad y la motivación necesaria para enfrentar los desafíos con paso firme, permitiéndome culminar hoy este importante ciclo de mi vida.

A mis padres y a mi hermana, mi motor y mi mayor orgullo. Gracias por su apoyo incondicional, por los sacrificios realizados para impulsar mi formación y por ser el refugio seguro donde siempre encontré el consejo y la compañía necesaria para seguir adelante. Este logro es tan suyo como mío.

A mis compañeros de generación, quienes en el aula y en los laboratorios dejaron de ser colegas para convertirse en amigos. Gracias por cada mano extendida y por compartir la meta común de convertirnos en ingenieros; su compañerismo fue el impulso necesario para alcanzar este nuevo escalón.

Mi más sincero agradecimiento a la empresa Motherson y, de manera muy especial, al Ing. Nelson Gómez Moreno, quien fungió como mi jefe y encargado de supervisar y apoyarme en el desarrollo de este proyecto. Gracias por su confianza, su tiempo y por compartir su valiosa experiencia técnica, así como a todo su equipo de trabajo en el área de producción por el respaldo brindado durante mi estancia. Asimismo, extendo mi gratitud al Ing. Juan Manuel García Barrios, por su guía académica y apoyo, los cuales fueron fundamentales para la estructuración y culminación de este trabajo. Al Instituto Tecnológico de Apizaco, mi casa de estudios, por brindarme las herramientas para forjar mi perfil profesional.

Finalmente, quiero agradecerme a mí mismo, por la resiliencia, por la disciplina y por haber creído en mi capacidad incluso en los momentos de mayor duda. Hoy confirmo que el esfuerzo y la fe en uno mismo son la base de cualquier éxito.

Resumen

El presente proyecto se centra en la “Optimización de tiempos ciclos en máquinas de inyección con el tonelaje 550 a 3300 en el área de producción” dentro de la planta Motherson. La investigación surge ante la necesidad de maximizar la eficiencia operativa y recuperar capacidad instalada en líneas de producción de alto tonelaje, donde las desviaciones en los tiempos de ciclo impactan directamente en el cumplimiento de las metas de manufactura y en los costos operativos.

La metodología empleada integra diversas herramientas de gestión de la calidad y de ingeniería industrial. Inicialmente, se aplicó un Análisis de Pareto para identificar los moldes críticos que representaban las mayores áreas de oportunidad, logrando priorizar los esfuerzos en los "pocos vitales". Posteriormente, se utilizó el Diagrama de Ishikawa bajo el enfoque de las 6M para diagnosticar las causas raíz de los tiempos elevados, identificando deficiencias en la estandarización de parámetros y métodos de enfriamiento.

Para la ejecución de las mejoras, se realizaron estudios de Cronometraje y Toma de Tiempos detallados, permitiendo una intervención técnica precisa en moldes estratégicos como el Q5NG-025, donde se alcanzó una reducción de 15.6 segundos por ciclo. Complementariamente, se implementaron metodologías como 5S, 5W+1H y Hojas de Verificación para asegurar la limpieza, el orden y, sobre todo, la estandarización de los nuevos parámetros técnicos.

Los resultados finales demuestran que la optimización no solo incrementó la productividad diaria de las máquinas de 550 a 3300 toneladas, sino que también fortaleció la estabilidad del proceso y la repetibilidad en la calidad de las piezas inyectadas. Este trabajo concluye con una propuesta de mejora continua que asegura que los ahorros de tiempo sean sostenibles a largo plazo, consolidando una cultura de eficiencia basada en datos dentro del departamento de producción.

Índice

Tabla de ilustraciones.....	VII
Indicé de tablas.....	IX
Capítulo I: Introducción	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Revisión del Estado de la Técnica.....	3
1.3 Justificación	6
1.3.1 Justificación Teórica	7
1.3.2 Justificación Social	9
1.3.3 Justificación Económica	10
1.3.4 Justificación Ambiental	10
1.4 Objetivos	11
1.4.1 Objetivo General.....	11
1.4.2 Objetivos Específicos	12
1.4.2 Descripción de la empresa de la empresa.	12
Capítulo II: Marco Teórico.....	15
2.1 Introducción al tiempo ciclo en inyección de plásticos	15
2.2.1. Fase de Enfriamiento en el Tiempo Total de Ciclo:	16
2.2.2. Parámetros Operacionales de la Máquina Inyectora:	16
2.3 Importancia y definición del tiempo ciclo	17
2.3.1 Definición Cuantitativa y Cualitativa del Tiempo de Ciclo:	17
2.3.2 Impacto Económico de la Optimización:.....	17
2.3.3. El Aumento de la Productividad y la Capacidad de Producción:	17
2.3.4. La Disminución de los Costos Unitarios de Fabricación:	18
2.3.5. Mejora en la Competitividad y Rentabilidad Empresarial:.....	18
2.3.6. Estándares de la Industria:	18
2.4 Técnicas y Metodologías de Optimización	19
2.4.1 Control Térmico y Reducción del Tiempo de Enfriamiento:.....	19
2.4.2. Uso de Temperaturas Óptimas de Molde y Husillo para Reducción de Ciclo:	19

2.4.3. Optimización de los Tiempos de Mantenimiento de Presión y su Transición con el Enfriamiento:.....	19
2.5 La Gestión de la Calidad y el Moldeo por Inyección:	19
2.5.1. Vínculo entre la Estabilidad del Ciclo y la Calidad de la Pieza	19
2.5.2. Defectos Originados por Ciclos Ineficientes o Inestables	20
2.5.3. Relevancia de la Consistencia en el Tiempo de Ciclo	20
2.5 Componentes Principales de una Prensa Inyectora Krauss Maffei:	21
2.5.1. Unidad de Cierre (Clamping Unit).....	21
2.5.2. Unidad de Inyección (Injection Unit)	22
2.5.3. Unidad de Control y Accionamiento	22
2.5.4. Automatización y Sistemas Auxiliares.....	22
2.6 Componentes Principales de una Prensa Inyectora Wittmann Battenfeld:	24
2.6.1. Unidad de Cierre.....	24
2.6.2. Unidad de Inyección	25
2.6.3. Unidad de Control y Automatización	25
2.7 Componentes Principales de una Prensa Inyectora Engel:.....	26
2.7.1. Unidad de Cierre.....	27
2.7.2. Unidad de Inyección	27
2.7.3. Unidad de Control e Integración.....	28
2.8 Resinas.	28
2.8.1 Familia Hostacom (Polipropileno Reforzado).....	29
2.8.2 Bayblend T65 y T85 (PC+ABS)	29
2.8.3 ASA LG (Acrilonitrilo Estireno Acrilato)	30
2.8.4 Finalloy 15x15.....	30
2.8.5 El Proceso de Peletizado (Pelletizing)	30
2.9 Herramientas de calidad.....	31
2.9.1 El Diagrama de Ishikawa.	31
2.9.1.1 Categorización por el Método de las 6M.....	32
2.9.2 Pareto	33
2.9.2.2 Construcción y Elementos del Diagrama.	33
2.9.2.3 Aplicación en la Ingeniería de Procesos.	34
2.9.3 5W+1H.....	34
2.9.3.1 Dimensiones de la Herramienta.	35

2.9.3.2 Utilidad en la Planificación y Mejora Continua.	35
2.9.4 PDCA.....	36
2.9.4.1 Etapas del Ciclo.	36
2.9.4.2 Importancia en la Gestión de la Calidad.....	37
2.9.5 5S.....	38
2.9.5.1 Las Etapas de la Metodología.	38
2.9.5.2 Impacto en la Ingeniería Industrial.....	39
2.9.6 Cronometraje o toma de tiempos.	39
2.9.6.1 Procedimiento Técnico del Cronometraje.	39
2.9.6.2 Aplicación de Suplementos y Tiempo Estándar.....	40
2.9.7 Checklist u hoja de liberación.	41
2.9.7.1 Tipos de Hojas de Verificación.	41
2.9.7.2 Importancia en el Control de Procesos.....	42
Capítulo III: Metodología	43
3.1 Diseño de especificaciones	43
3.2 Diseño detallado	44
3.2.1 Información detallada sobre el proceso actual:.....	44
3.2.2 Proceso de inyección y recolección de la pieza.....	45
Diagrama del proceso:.....	46
3.2.2 Identificación de problemas y limitaciones en proceso de inyección y tiempos ciclos:	47
3.2.3 Análisis de mantenimientos preventivos:	51
3.2.3.1 Las áreas de mantenimiento con las que la empresa cuenta.....	51
3.2.4 Elaboración de propuesta de mejoras basada en hallazgos iniciales	52
3.3 Simulación	53
3.3.1 Implementación de herramientas de calidad basada en información de los procesos:.....	53
.....	53
Análisis de causa raíz enfocado a maquinaria y robot:	54
3.3.2 Pruebas de proceso planeado	55
3.3.3 Estandarización de nombres de programa:	59
3.3.4 Creación de Checklist de proceso para Smeds y Awetas:	61
3.4 Implementación del proceso y pruebas.	62
3.5 Resultados del proceso.....	76

Capítulo IV: Resultados y Conclusiones	80
4.1 Resultados	80
4.2 Conclusiones	80
Capítulo V: Competencias desarrolladas y/o aplicadas	82
Referencias	1
Anexos	6
Anexo 1: Requerimientos de Gestión Tecnológica y Vinculación	6
Anexo 2: Requerimientos de División de Estudios Profesionales.....	6
Anexo 3: Requerimientos de Servicios Escolares	6

Tabla de ilustraciones.

Ilustración 1 Organigrama de Motherson.....	14
Ilustración2 Parámetros de inyección.....	16
Ilustración 3 Reducción de tiempos ciclos.....	18
Ilustración 4Maquina inyectora Krauss Maffei.....	24
Ilustración 5 Maquina inyectora WITTMANN BATTENFELD	26
Ilustración 6 Tipos de resinas	29
Ilustración 7 Resina de paletizado	31
Ilustración 8 Formato de diagrama de ishukawa	33
Ilustración 9 Ejemplo de diagrama de Pareto.....	34
Ilustración 10 Formato de 5W+1H.....	36
Ilustración 11 Formato de PDCA.....	37
Ilustración 12 Formato de 5S.....	39
Ilustración 13 Cronometraje o medida de tiempos	41
Ilustración 14 Checklist u Hoja de verificación	42
Ilustración 15 Cronograma de actividades según anteproyecto	43
Ilustración 16 Diagrama de flujo del proceso	46
Ilustración 17 Proceso de inyección	48
Ilustración 18 Extracción de pieza	48
Ilustración 19 Entrega de pieza.....	49
Ilustración 20 Parámetros del proceso de inyección	49
Ilustración 21 Parámetros de apertura y cierre de prensa.....	50
Ilustración 22 Tiempos ciclos tomados.....	50

Ilustración 23 5W+1H	53
Ilustración 24 Ishikawa	54
Ilustración 25 Análisis causa raíz enfocado en maquinaria y robot	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 26 PDCA del proceso de mejora.....	55
Ilustración 27 Tiempo ciclo manejado antes de la prueba	56
Ilustración 28 Parámetros de inyección antes de ajustes	56
Ilustración 29 Parámetros de fuerza de cierre y apertura de prensa.....	57
Ilustración 30 Parámetros de inyección modificados del NG-42.....	57
Ilustración 31 Ajustes de cierre de prensa NG-042.....	58
Ilustración 32 Parámetros obtenidos con los ajustes del NG-042.....	58
Ilustración 33 Estandarización de nombres de programas	60
Ilustración 34 Checklist de proceso.	61
Ilustración 35 Tiempos ciclos registrado antes de modificación NG-008.....	62
Ilustración 36 Parámetros de inyección sin modificaciones de NG-008.....	63
Ilustración 37 Parámetros modificados.	63
Ilustración 38 Tiempo ciclo final de NG-008.....	64
Ilustración 39 Modificación de nombre en programa NG-008	65
Ilustración 40 Tiempo ciclo antes de modificar NG-025	65
Ilustración 41 Perfil de inyección antes de modificar NG-025	66
Ilustración 42 Cierre de molde antes de ajuste	66
Ilustración 43 Apertura de molde antes de ajuste.....	66
Ilustración 44 Parámetros de inyección modificados NG-025	67
Ilustración 45 Parámetros de cierre ajustados NG-025	67
Ilustración 46 Apertura de molde modificada de NG-025	68
Ilustración 47 Tiempos ciclos obtenidos de la optimización del NG-025	68
Ilustración 48 Modificación de nombre Ng-025	69
Ilustración 49 Tiempo ciclo manejado antes de modificación del NG-034	69
Ilustración 50 Parámetros antes de modificación del NG-034.....	69
Ilustración 51 Datos de apertura sin modificar.....	70
Ilustración 52 Datos de cierre de prensa sin modificar NG-034.....	70
Ilustración 53 Parámetros con proceso modificado de NG-034.....	70
Ilustración 54 Datos de apertura modificados del NG-034.....	71
Ilustración 55 Datos de cierre de prensa modificados del NG-034.....	71
Ilustración 56 Tiempo ciclo obtenido después de cambios en NG-034	72
Ilustración 57 Tiempo ciclos sin modificaciones en NG-032	73
Ilustración 58 Datos de cierre de molde sin modificar del NG-032	73
Ilustración 59 Datos de apertura de prensa sin modificar del NG-032	73
Ilustración 60 Datos modificados de cierre de prensa del NG-032.....	74
Ilustración 61 Datos modificados de apertura de prensa de Ng-032.....	74
Ilustración 62 Tiempo obtenido con los cambios del NG-032	75
Ilustración 63 Modificación de nombre de programa guardado del NG-032	76
Ilustración 64 grafica de antes vs ahora.....	77
Ilustración 65 Grafica de resultados semanal	77
Ilustración 66 Diagrama de Pareto del proceso	78

Ilustración 67 grafica de tiempos ciclos registrados como más altos79

Indicé de tablas.

Tabla 1 resultados de optimizaciones.....76

Tabla 2 Planeación de optimizaciones78

Capítulo I: Introducción

1.1 Planteamiento del problema

En la empresa Motherson, especializada en la producción de piezas plásticas para el sector automotriz entre ellas fascias, molduras, entre otros elementos plásticos que la empresa produce.

Actualmente se ha detectado una situación que compromete el rendimiento del área de inyección. Las máquinas de moldeo por inyección, que abarcan capacidades desde 550 hasta 3300 toneladas y con marcas de prensas como Krauss maffei, Engel y, presentan inconsistencias importantes en sus tiempos de ciclo, lo cual ha comenzado a impactar distintos indicadores operativos y productivos de la planta.

Estas fluctuaciones en los ciclos de trabajo han provocado una caída en la eficiencia general del proceso, afectando la estabilidad de la producción diaria, generando retrasos en el cumplimiento de los programas establecidos y elevando el costo unitario de fabricación. En un entorno industrial donde la competitividad depende en gran parte del control preciso de los tiempos ciclo y de la capacidad para asegurar procesos estables, estas variaciones representan un desafío significativo que debe abordarse de inmediato.

A partir de las revisiones iniciales del proceso, se han identificado dos factores principales que contribuyen a esta problemática:

1. **Secuencias de operación de los robots poco eficiente, con velocidades mal optimizadas.**

Se ha observado que los robots encargados de la extracción y manipulación de las piezas realizan movimientos que no aportan valor, ya sea porque son pasos innecesarios y velocidades no optimizadas. En algunos casos, los programas han sido modificados con el paso del tiempo para resolver situaciones momentáneas, sin que se haya realizado un análisis

de depuración y optimizarlos. Esta falta de estandarización provoca que la interacción entre la máquina y el robot no sea siempre la más rápida ni la más precisa, generando segundos adicionales en el ciclo que, acumulados a lo largo del turno, reducen significativamente la capacidad productiva.

2. Ajustes y parámetros de las máquinas configurados inadecuados o mal optimizados.

Se han detectado parámetros de moldeo que podrían mejorarse considerablemente sin comprometer la calidad del producto final. Por ejemplo, tiempos de enfriamiento superiores a los necesarios, velocidades de apertura y cierre más bajas de lo recomendado, entre otros parámetros que se podrían mejorar. Estos ajustes no óptimos contribuyen a ciclos más largos y a una variabilidad notable entre máquinas o incluso entre diferentes turnos operativos. La ausencia de una estandarización sólida genera que el desempeño dependa en gran medida del criterio del técnico que en esta empresa son conocidos como awetas o del equipo de trabajo smed que es el encargado de realizar los cambios de molde y arrancar la máquina.

La combinación de estos dos elementos con programaciones no optimizadas y máquinas con parámetros poco ajustados han provocado que la planta opere por debajo de su capacidad real, lo que repercute en:

- Menor cantidad de piezas producidas por turno.
- Incrementos en los tiempos de entrega.
- Aumento en el consumo de energía por pieza.
- Incremento en los costos operativos y en el costo por unidad.

Este escenario hace evidente la necesidad de implementar un proyecto formal que permita analizar, optimizar y estandarizar los tiempos ciclos en las máquinas del área de inyección,

además de estandarizar los nombres de los programas de estas máquinas inyectoras. Dicho proyecto debe enfocarse en la revisión de los programas de los robots, el ajuste técnico de los parámetros de las prensas, el ajuste y optimización de los programas de los robots, y la generación de estándares que garanticen un comportamiento estable, reproducible y eficiente para cada molde y cada componente fabricado, además de que se realice una capacitación al personal para tener un control a la hora de cambiar los programas.

1.2 Revisión del Estado de la Técnica

Para la revisión del estado del arte y de la técnica relacionada con la reducción de tiempos de ciclo en procesos de inyección de plásticos, se realizó una búsqueda en artículos científicos, informes técnicos e investigaciones dedicadas a la optimización del proceso de moldeo por inyección, así como a la automatización por medio de robots industriales. Las palabras clave utilizadas fueron: cycle time reduction, injection molding optimization, robotic extraction, plastic injection process y automation. A continuación, se presentan los trabajos más relevantes que permiten comprender los avances, desafíos y tendencias actuales en la optimización del tiempo de ciclo enfocada exclusivamente en la máquina inyectora y en la programación del robot.

Uno de los trabajos más citados en este campo es el realizado por Vishnuvarthanan, R., Rajesh, S. & Rajeshkannan, A. (2015), quienes evaluaron la reducción del tiempo de ciclo en moldeo por inyección mediante simulaciones CAE con Autodesk Moldflow. La investigación analizó la influencia de parámetros como temperatura del molde, tiempo de enfriamiento y presión de inyección, demostrando que la fase de cooling es la que más incide en la duración total del ciclo. Los autores confirmaron que la optimización de parámetros de la máquina permite reducir significativamente los tiempos sin afectar la calidad superficial de la pieza (International Journal of Contemporary Research).

En un estudio elaborado por Pantani, R. & Titomanlio, G. (2013) se analizó la importancia del control térmico del molde para reducir tiempos de ciclo. A través de mediciones experimentales, se identificó que el tiempo de enfriamiento representa entre el 60 % y 80 % del ciclo total en la inyección convencional, por lo que el ajuste correcto de temperaturas y la eficiencia del sistema de refrigeración son esenciales para minimizar tiempos muertos (Polymer Testing Journal).

Por su parte, Michaeli, W., et al. (2012) desarrollaron una investigación en el Instituto IKV de Alemania en la cual se evaluó la relación entre parámetros de inyección y tiempos de ciclo, demostrando que variaciones pequeñas en velocidades de inyección, tiempos de compactación y presiones finales pueden reducir tiempos totales sin comprometer dimensión ni integridad de la pieza moldeada (Kunststoffe International).

En cuanto a automatización, el estudio de Hofmann, J. & Wenzel, S. (2021) presenta un enfoque para la optimización del tiempo de ciclo en celdas automatizadas mediante robots industriales. Su trabajo se centra en reducir tiempos ociosos debidos a movimientos innecesarios, trayectorias ineficientes y falta de sincronización entre máquina inyectora y robot manipulador. Mediante algoritmos de optimización espacial, lograron disminuir hasta en un 17 % el tiempo de extracción y colocación (Optimization and Engineering Journal).

De manera complementaria, Battisti, L., Simeone, A. & Callegari, M. (2019) realizaron un análisis sobre estrategias de programación avanzada de robots en procesos de moldeo, mostrando que la optimización de trayectorias, la reducción de aceleraciones innecesarias y la sincronización entre señales de la inyectora y el robot pueden disminuir tiempos de ciclo entre

0.5 y 1.2 segundos por pieza, lo cual es significativo en producciones de alto volumen (Procedia Manufacturing).

En un informe técnico de la revista *Plastics Technology* (2020) se presenta un estudio de campo en plantas de inyección donde se identifica que una de las principales causas de ciclos prolongados es la falta de estandarización en la programación del robot de extracción. El informe documenta casos de éxito donde la reprogramación de movimientos y la reducción de zonas de seguridad excesivas lograron mejoras entre el 5 % y 12 % del tiempo total del ciclo.

Finalmente, Chen, Y. & Turng, L. S. (2016) analizaron la integración entre la máquina inyectora y el sistema robótico para lograr lo que denominan *fully synchronized molding cells*. Su investigación detalla que la comunicación directa entre robot e inyectora, así como la activación anticipada de movimientos robóticos antes del final de la fase de apertura del molde, pueden reducir los segundos finales del ciclo sin comprometer la seguridad (*Journal of Manufacturing Processes*).

Después de revisar exhaustivamente artículos científicos, informes industriales y estudios especializados, se identificó que la reducción del tiempo de ciclo en procesos de inyección de plásticos es un tema ampliamente estudiado; sin embargo, la mayoría de las investigaciones se concentran en parámetros térmicos, optimización CAE o calidad del producto, también estas investigaciones se centran en diferentes marcas de maquina y robot a las que se encuentran en la máquina que encontramos en la empresa en donde se realizara el proyecto . Solo un número limitado de estudios aborda de manera integrada la optimización simultánea de la máquina inyectora y de la programación/movimientos del robot. Esto representa una oportunidad para desarrollar un enfoque aplicado y específico para líneas automatizadas de inyección, donde la sincronización entre ambas tecnologías es determinante para alcanzar ciclos más cortos y eficientes.

1.3 Justificación

En la industria automotriz, la eficiencia productiva y la reducción de costos operativos son factores clave para mantener la competitividad frente a un mercado cada vez más exigente. En este contexto, el área de inyección plástica de la planta Motherson, dedicada a la fabricación de fascias delanteras, traseras y molduras, juega un papel fundamental al ser una de las etapas con mayor impacto en el tiempo total de producción y en la calidad final del producto.

Actualmente, se ha identificado una variabilidad considerable en los tiempos de ciclo de las máquinas de inyección con tonelajes de 550 a 3300 toneladas, lo que genera ineficiencias operativas, incremento en los tiempos muertos, y desviaciones respecto a los planes de producción. Estos problemas afectan directamente la eficiencia global del equipo (OEE), el consumo energético, el uso de recursos humanos y los costos por pieza producida.

Desde un punto de vista técnico, la optimización de los tiempos ciclo representa una oportunidad para identificar los factores críticos del proceso de inyección, tales como el tiempo de enfriamiento, la presión de inyección, velocidades de apertura y cierre de la prensa y la configuración de la maquinaria, generando un modelo de operación más eficiente y basado en datos reales.

En términos económicos, una reducción de apenas segundos por ciclo puede traducirse en horas de producción adicionales por semana, lo que significa mayor volumen de piezas, menor consumo energético por unidad y mayor rentabilidad.

Optimizar los tiempos ciclos permitirá aumentar la productividad, mejorar la estabilidad del proceso y reducir los costos operativos, sin comprometer la calidad del producto. Además, una estandarización de los parámetros de proceso facilitará la repetibilidad y consistencia en la producción, mejorando la capacidad de respuesta ante la demanda del cliente y contribuyendo al cumplimiento de los estándares de calidad automotriz que caracterizan a Motherson.

Por ello, se considera indispensable llevar a cabo un proyecto orientado a revisar y optimizar los tiempos ciclo las máquinas con mayor variabilidad del área de inyección. Esta iniciativa permitirá:

- Recuperar la eficiencia perdida sin necesidad de aumentar la infraestructura actual.
- Disminuir la variabilidad entre equipos y turnos.
- Asegurar procesos más estables y confiables.
- Mejorar el costo unitario y el desempeño global del equipo.
- Incrementar y optimizar la producción.

En conclusión, este proyecto es esencial para fortalecer la eficiencia operativa, asegurar la continuidad del proceso productivo y contribuir al cumplimiento de los objetivos estratégicos de competitividad, calidad y optimización de recursos dentro de la empresa.

1.3.1 Justificación Teórica

La optimización de los tiempos de ciclo en procesos de inyección de plásticos se fundamenta en principios teóricos ampliamente desarrollados dentro de la ingeniería industrial y del moldeo por inyección. Diversos autores han demostrado que el ciclo de inyección se compone de etapas clave como el llenado o inyección, compactación o sostenimiento, enfriamiento y expulsión cuyos tiempos pueden ser ajustados mediante un análisis riguroso de parámetros como presión, velocidad, temperatura y sincronización de movimientos, entre otras cosas. De acuerdo con la teoría del moldeo científico, un proceso estable y correctamente parametrizado permite obtener piezas de calidad repetible con ciclos más cortos, siempre que se respeten las condiciones óptimas del comportamiento térmico y reológico del polímero.

Diversos autores coinciden en que la fase de enfriamiento constituye el mayor porcentaje del ciclo total, especialmente en máquinas de alto tonelaje, debido a la masa térmica del molde y a la cantidad de material procesado. Por ello, teorías como el moldeo científico (Scientific Molding) y los principios del control sistemático de parámetros señalan la importancia de optimizar temperaturas, presiones, tiempos de inyección y compactación para lograr ciclos estables, repetibles y con menor duración.

A nivel conceptual, la teoría del diseño de procesos productivos también establece que la reducción de tiempos debe lograrse sin comprometer la calidad dimensional de la pieza, lo cual se fundamenta en modelos de transferencia de calor, reología de polímeros y comportamiento del material durante la solidificación. Estos principios permiten sustentar que la optimización del ciclo no se basa únicamente en disminuir tiempos, sino en equilibrar adecuadamente cada etapa del proceso para asegurar uniformidad en la pieza moldeada.

Por otro lado, las teorías de automatización industrial muestran que la integración entre máquina inyectora y robot es esencial para eliminar tiempos ociosos entre aperturas de molde, extracción y reinicio del ciclo. La sincronización adecuada de señales, trayectorias optimizadas y reducción de movimientos innecesarios son prácticas respaldadas por modelos de eficiencia operativa y control industrial, que indican que la automatización bien programada puede reducir de forma significativa los segundos finales del ciclo.

En conjunto, la base teórica disponible respalda la necesidad de analizar de manera conjunta los parámetros de la máquina de inyección y la secuencia robótica, ya que ambos elementos condicionan la reducción del ciclo total. Esto justifica plenamente el desarrollo del presente proyecto, el cual se sustenta en principios científicos, técnicos y metodológicos ampliamente reconocidos en la industria del moldeo por inyección.

1.3.2 Justificación Social

La optimización de los tiempos de ciclo en el área de inyección no solo tiene beneficios técnicos y económicos, sino que también repercute positivamente en el entorno social de la planta y de la comunidad laboral. Un proceso más eficiente contribuye a generar condiciones de trabajo más seguras y organizadas, ya que la reducción de tiempos muertos y movimientos innecesarios disminuye el riesgo de accidentes asociados a la manipulación de moldes, piezas calientes o componentes del robot.

Además, la mejora en la eficiencia operativa permite una distribución más equitativa de las cargas de trabajo entre los operadores, reduciendo la fatiga física y mental derivada de tareas repetitivas o de sobreesfuerzo por retrasos en la producción. Esto repercute directamente en la motivación y satisfacción del personal, fomentando un ambiente laboral más saludable y productivo.

Por otra parte, al disminuir la frecuencia de fallas y retrabajos, los operarios tienen menos interrupciones en su rutina y pueden enfocarse en actividades de valor agregado, como el control de calidad, el mantenimiento preventivo y la mejora continua del proceso. Esto no solo fortalece las competencias técnicas del equipo, sino que también promueve una cultura de responsabilidad y profesionalismo dentro de la planta.

En un sentido más amplio, la optimización de ciclos contribuye indirectamente a la comunidad, ya que la empresa puede aumentar su capacidad de producción sin necesidad de expandir físicamente la planta ni incrementar la presión sobre los recursos. De esta manera, se generan productos de manera más eficiente, segura y responsable, reforzando la imagen de la empresa como un actor comprometido con la seguridad laboral, el bienestar de sus trabajadores y la sostenibilidad social del entorno industrial.

1.3.3 Justificación Económica

La optimización de los tiempos ciclo representa un impacto económico directo y significativo para el área de producción. Al reducir el tiempo requerido para completar cada ciclo, la planta incrementa su volumen de piezas terminadas sin necesidad de ampliar instalaciones o adquirir maquinaria adicional. Esta mejora en la eficiencia operativa permite que la empresa aproveche al máximo los recursos ya disponibles.

Un ciclo más corto implica menos tiempo de uso por pieza, lo que reduce los costos asociados a energía, desgaste de componentes, horas-máquina y consumo de insumos. Asimismo, al estabilizar parámetros y eliminar tiempos muertos, disminuyen los rechazos y los retrabajos, evitando pérdidas económicas derivadas del desperdicio de material plástico y de mano de obra adicional.

En máquinas de alto tonelaje, donde cada ciclo representa un costo elevado por la cantidad de energía necesaria y el tamaño de los moldes, incluso una reducción mínima por segundo genera un ahorro acumulado considerable al cierre de mes o año. Por estas razones, optimizar los tiempos de ciclo se convierte en una estrategia altamente rentable y esencial para mejorar la competitividad y sostenibilidad del proceso de inyección.

1.3.4 Justificación Ambiental

La optimización de los tiempos de ciclo en el área de inyección genera también impactos ambientales positivos. Cuando los ciclos operan con duraciones mayores o presentan variabilidad, las máquinas requieren más energía para producir cada pieza, lo que incrementa la huella ecológica del proceso. Al acortar dichos tiempos y eliminar desplazamientos innecesarios tanto en robots como en prensas, se logra una reducción directa en el consumo energético y, por ende, en el impacto ambiental derivado de la operación diaria.

De igual manera, parámetros inadecuadamente configurados suelen producir un incremento en el scrap, defectos y retrabajos, lo que implica un consumo adicional de material, energía y recursos. Al establecer controles más precisos y estandarizar las condiciones de trabajo, disminuye de manera considerable la generación de desechos plásticos y la recurrencia de reprocesos, promoviendo un uso más eficiente y consciente de las materias primas.

Un proceso más estable también reduce la necesidad de intervenciones correctivas, evitando emisiones adicionales, fugas, gasto excesivo de lubricantes y cambios prematuros de moldes.

En conjunto, la optimización contribuye a una operación más limpia y eficiente mediante:

- La disminución del consumo de energía por pieza moldeada.
- La reducción del desperdicio de resina y del material no conforme.
- La mitigación de residuos asociados a retrabajos y fallas del proceso.
- El aprovechamiento responsable y racional de los recursos disponibles.

Por lo tanto, la implementación de este proyecto no solo fortalece la eficiencia productiva, sino que también respalda los compromisos ambientales de la empresa y favorece el desarrollo de un proceso de manufactura más sostenible.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Reducir y optimizar los tiempos ciclos de las maquinas inyectoras en el área de inyección para elevar la producción por hora y llegar a los objetivos de la empresa, además de estandarizar el nombre de los programas de la inyectora.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar el estado actual de los tiempos ciclos en las máquinas de inyección de 550 a 3300 toneladas, identificando cuellos de botella, ineficiencias y variabilidad en los procesos.
- Diseñar estrategias de optimización de tiempos de ciclo para cada máquina, considerando parámetros de inyección, temperatura, presión y movimientos y velocidades del robot de extracción.
- Elaborar checklist para tener un control a la hora de cargar el programa antes de arrancar la máquina.
- Desarrollar una optimización y mejora de los tiempos ciclos mejorando las velocidades del robot y los parámetros de las maquinas estandarizando los nombres de los programas guardados.
- Capacitar al personal de producción como técnicos (Awetas) y cambia moldes (Smeds) indicándoles el nombre correcto del programa optimizado y enseñando las diferencias de parámetros y movimientos del robot ya optimizados, esto con integración de ayudas visuales.
- Evaluar la efectividad de las estrategias de optimización mediante indicadores de desempeño como reducción de tiempo de ciclo, disminución de scrap, ahorro energético y mejora en la productividad.

1.4.2 Descripción de la empresa de la empresa.

Motherson es una empresa global del sector automotriz dedicada a la fabricación de componentes, sistemas y módulos para vehículos. Se especializa en soluciones integrales que van desde el diseño, ingeniería y manufactura hasta la logística y distribución de autopartes. La

compañía opera con un enfoque en la calidad, la innovación y la mejora continua, buscando optimizar procesos productivos y garantizar la satisfacción de sus clientes a nivel mundial. Motherson es una empresa multinacional india, fundada en 1975 en Delhi. En México, Motherson cuenta con plantas de producción estratégicamente ubicadas para atender a la industria automotriz nacional e internacional, ofreciendo productos como arneses eléctricos, tableros, espejos retrovisores, sistemas de ensamble y refacciones específicas para líneas de producción. Con presencia global en numerosos países, la compañía se ha convertido en uno de los proveedores de automoción de más rápido crecimiento del mundo.

Este proyecto se estará realizando en la planta Motherson ubicada en Zitlaltépec, Tlaxcala, en el departamento de inyección específicamente en el área de smed. La planta realiza procesos particularmente ligados a la inyección de plástico, fabricación de módulos exteriores como: parachoques, alerones, cubiertas para ruedas, cubiertas de puertas, etc.

El equipo de trabajo de smed son los encargados de realizar los cambios respectivos de molde, estos trabajan junto con otras tres áreas, que son los Materialistas y Awetas, estos tres trabajan en conjunto para la inyección y producción de piezas automotrices, mientras los smed realizan el cambio de molde en las maquinas, el materialista se encarga de mandar el material correspondiente a cada maquina el ve que el material está llegando correctamente, por otra parte el Aweta es el encargado de hacer el arranque de las máquinas y de ver que las piezas que se están inyectando no tengan errores como: ráfagas, deformación, burbujas, entre otras, ellos son los encargados de corregir todos estos errores técnicos que se puedan tener.

Este proyecto contribuirá a la mejora de tiempos ciclos de las máquinas de inyección, obteniendo un mejor nivel de productividad en el área de inyección, además de que este proceso es de suma importancia para las ganancias de la empresa Motherson.



Ilustración 1 Organigrama de Motherson

Capítulo II: Marco Teórico

El moldeo por inyección es una técnica de fabricación fundamental en la industria moderna, siendo el método más prevalente para la producción masiva de artículos plásticos (Shrivastava, 2018). Este proceso consiste en fundir un material termoplástico, inyectarlo a alta presión en un molde cerrado, enfriarlo hasta que solidifique con la forma deseada, y finalmente expulsar la pieza terminada (Rosato & Rosato, 2011).

2.1 Introducción al tiempo ciclo en inyección de plásticos

El tiempo de ciclo en el moldeo por inyección es uno de los indicadores fundamentales que determinan la eficiencia productiva de una planta, ya que cada segundo adicional representa una reducción en la productividad y un incremento en el costo unitario de la pieza. El ciclo comprende todas las fases del proceso: cierre del molde, inyección, compactación, enfriamiento, apertura del molde y expulsión, además de los movimientos del robot que extrae y deposita la pieza. (Rosato & Rosato, 2011)

El moldeo por inyección es una de las metodologías más prevalentes para la fabricación de artículos plásticos a escala industrial, representando un porcentaje considerable del peso total de los productos de este material que se manufacturan globalmente (Shrivastava, 2018). Este método destaca por su capacidad para producir piezas de forma repetitiva, con alta precisión y a costos bajos, razón por la cual ha sido adoptado ampliamente en diversas industrias, incluso como sustituto de materiales tradicionales (Fu et al., 2020).

2.2 Fases del ciclo de la inyección

El tiempo de ciclo total es la suma de los tiempos requeridos para completar cada una de las fases principales de la operación, que se desarrollan dentro de la máquina inyectora de manera secuencial (Atienza y Climent, 2024).

2.2.1. Fase de Enfriamiento en el Tiempo Total de Ciclo:

La fase de enfriamiento comienza después de la compactación y es, con diferencia, la etapa más larga del ciclo, llegando a consumir entre el 50% y el 70% del tiempo total. La pieza debe enfriarse hasta una temperatura segura de desmolde para evitar deformaciones (Gestión De Compras, 2025). La duración de esta fase depende de la temperatura del molde, las propiedades térmicas del material y el espesor de pared de la pieza.

2.2.2. Parámetros Operacionales de la Máquina Inyectora:

Presión, Temperatura y Velocidad: El control preciso de los parámetros operacionales es indispensable para la optimización. La temperatura (del husillo y del molde) y la presión (de inyección y de sostenimiento) deben ser ajustadas para asegurar un llenado óptimo, una contracción adecuada y minimizar el tiempo de enfriamiento (Atienza y Climent, 2024). Un ajuste incorrecto puede prolongar el ciclo innecesariamente o comprometer la calidad de la pieza.

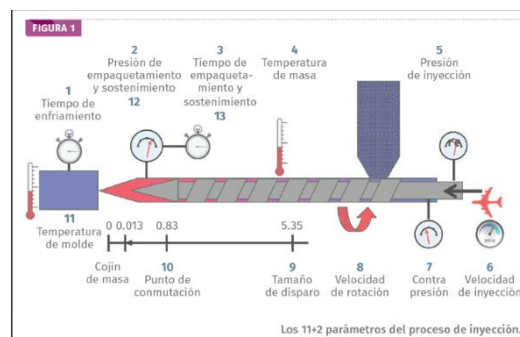


Ilustración2 Parámetros de inyección

2.3 Importancia y definición del tiempo ciclo

2.3.1 Definición Cuantitativa y Cualitativa del Tiempo de Ciclo:

El tiempo de ciclo es la medida de tiempo que transcurre desde que el molde se cierra hasta que la pieza es expulsada y el molde se cierra nuevamente para iniciar el siguiente ciclo (CEP-MEX, 2023). Cuantitativamente, es un indicador directo de la velocidad de producción. Cualitativamente, un ciclo estable y consistente es sinónimo de calidad de pieza uniforme (Plásticos de Lezo, 2025).

2.3.2 Impacto Económico de la Optimización:

La reducción de segundos en el tiempo de ciclo tiene un efecto multiplicador directo en la economía de la empresa.

Impacto Económico del Tiempo de Ciclo

La optimización del tiempo de ciclo es la principal vía para incrementar la rentabilidad en una planta inyectora (CEP-MEX, 2023). La reducción de unos pocos segundos en el ciclo tiene un efecto multiplicador, ya que aumenta la capacidad de producción sin necesidad de inversión en maquinaria adicional (Intime Plastic Machinery, 2025).

El efecto financiero más notable es la disminución de los costos unitarios de fabricación. Al repartir el costo de operación de la máquina (energía, mano de obra, depreciación) entre un mayor número de piezas producidas por hora, se logra una ventaja competitiva sustancial (Plásticos de Lezo, 2025).

2.3.3. El Aumento de la Productividad y la Capacidad de Producción:

Disminuir el ciclo implica que se pueden producir más unidades por hora con los mismos recursos, elevando la eficiencia general y permitiendo a la empresa satisfacer demandas más altas sin necesidad de invertir en maquinaria adicional (Intime Plastic Machinery, 2025).

2.3.4. La Disminución de los Costos Unitarios de Fabricación:

El costo de operación de la máquina (energía, mano de obra, depreciación) se reparte entre un mayor número de piezas producidas. Por ende, la reducción del costo unitario es la principal consecuencia financiera de la optimización del tiempo de ciclo (Plásticos de Lezo, 2025).

2.3.5. Mejora en la Competitividad y Rentabilidad Empresarial:

Al reducir los costos y aumentar la velocidad de respuesta, la empresa inyectora se posiciona de manera más competitiva en el mercado, mejorando su margen de beneficio y rentabilidad (CEP-MEX, 2023).

2.3.6. Estándares de la Industria:

Los tiempos de ciclo óptimos varían ampliamente, pero la industria se esfuerza constantemente por alcanzar los ciclos más cortos posibles (Plásticos de Lezo, 2025). Es crucial comparar los tiempos de ciclo actuales del proyecto con benchmarks de la industria para determinar la magnitud de la oportunidad de mejora.



Ilustración 3 Reducción de tiempos ciclos

2.4 Técnicas y Metodologías de Optimización

2.4.1 Control Térmico y Reducción del Tiempo de Enfriamiento:

El tiempo de enfriamiento es el factor dominante en la duración total del ciclo de inyección, representando habitualmente más de la mitad del tiempo productivo (Gestión De Compras, 2025). La optimización térmica se centra en aumentar la velocidad de transferencia de calor desde la pieza plástica fundida hacia el molde.

2.4.2. Uso de Temperaturas Óptimas de Molde y Husillo para Reducción de Ciclo:

La temperatura del molde debe ser lo más baja posible para acelerar el enfriamiento, pero lo suficientemente alta para asegurar un buen flujo superficial y evitar tensiones internas. La temperatura del Husillo debe ser ajustada al mínimo necesario para plastificar el material, ya que un material menos caliente requerirá menos tiempo para solidificar en el molde (Prototool, 2024).

2.4.3. Optimización de los Tiempos de Mantenimiento de Presión y su Transición con el Enfriamiento:

El tiempo de sostenimiento (compactación), aunque corto, consume tiempo valioso. Debe ser solo el necesario para compensar la contracción del material. Cortarlo tan pronto como el punto de inyección se ha solidificado es una técnica clave para iniciar el enfriamiento final sin presión (Yize Mould, 2025).

2.5 La Gestión de la Calidad y el Moldeo por Inyección:

2.5.1. Vínculo entre la Estabilidad del Ciclo y la Calidad de la Pieza

La calidad final de los componentes moldeados depende directamente de la estabilidad y la correcta duración del tiempo de ciclo. Cualquier cambio, ya sea una prolongación o una

reducción, en la duración de las fases clave (como el enfriamiento o el sostenimiento de presión), tiene el potencial de comprometer las propiedades físicas y la apariencia estética del producto (Atienza y Climent, 2024).

2.5.2. Defectos Originados por Ciclos Ineficientes o Inestables

Un proceso de inyección que no está optimizado adecuadamente o que es inconsistente en sus tiempos puede ser el origen de varios fallos comunes de moldeo:

Deformación (o Alabeo): Se produce cuando la fase de enfriamiento se finaliza prematuramente, lo que resulta en la eyección de la pieza a una temperatura por encima del límite seguro de desmolde. En este estado blando, la pieza puede ceder ante la presión de los expulsores o la gravedad, causando distorsiones geométricas (Gestión De Compras, 2025).

Flashing (Rebaba): Aunque múltiples factores lo causan, puede verse agravado por una presión de compactación excesiva o mantenida por un tiempo innecesariamente largo. Esta condición fuerza al material a infiltrarse en las separaciones del molde, dejando material sobrante o rebabas (Rosato & Rosato, 2011).

Short Shots (Llenado Incompleto): Este defecto está a menudo relacionado con un tiempo de inyección muy corto o una velocidad de llenado inadecuada. Esto impide que la cavidad del molde se llene completamente antes de que el material se solidifique, un riesgo particularmente alto en piezas con paredes delgadas.

2.5.3. Relevancia de la Consistencia en el Tiempo de Ciclo

La consistencia del tiempo de ciclo es un indicador directo de la solidez y el control del proceso, incluso más allá de su duración total.

Un ciclo estable y repetitivo asegura que cada pieza reciba el mismo tratamiento térmico y de presión, garantizando así una calidad uniforme en la producción masiva (Plásticos de Lezo, 2025).

La inestabilidad en los tiempos de enfriamiento o compactación provoca variaciones directas en el peso, las dimensiones y las propiedades mecánicas de las piezas. Esta inconsistencia es inaceptable bajo cualquier estándar de calidad industrial (Atienza y Climent, 2024).

2.5 Componentes Principales de una Prensa Inyectora Krauss Maffei:

Los componentes principales de una prensa inyectora se estructuran en tres unidades fundamentales, esenciales para el proceso de moldeo (Rosato & Rosato, 2011).

2.5.1. Unidad de Cierre (Clamping Unit)

Esta unidad tiene la función crítica de soportar el molde, guiar su apertura y cierre, y aplicar la fuerza necesaria para mantenerlo firmemente sellado durante la inyección (Atienza y Climent, 2024).

Platinas Porta Moldes: Se componen de un plato fijo y un plato móvil, que alojan las dos mitades del molde.

Barras Guía (Columnas): Elementos robustos que proporcionan la guía para el movimiento del plato móvil y absorben la fuerza de sujeción (fuerza de cierre).

Mecanismo de Cierre: Es el sistema que genera la fuerza de cierre o tonelaje. En modelos de Krauss Maffei, este puede ser de rodillera o hidromecánico, diseñado para contrarrestar la alta presión de inyección y evitar el flashing (Krauss Maffei, 2025).

Sistema de Expulsión (Eyector): Mecanismo que empuja la pieza terminada fuera de la cavidad una vez que el molde se abre.

2.5.2. Unidad de Inyección (Injection Unit)

Esta unidad se encarga de la plastificación del material (fundirlo y mezclarlo) y de la inyección controlada del polímero fundido en el molde (Rosato & Rosato, 2011).

Tolva: Depósito superior desde donde se alimentan los gránulos de plástico.

Cilindro (Barril): Estructura que contiene el husillo y está equipada con bandas calefactoras para fundir el material mediante calor externo y fricción.

Husillo o Tornillo: Su movimiento rotatorio funde y dosifica el material. Su movimiento axial actúa como un pistón para forzar el material fundido a alta presión hacia la boquilla (Atienza y Climent, 2024).

Boquilla Inyectora (Tobera): El punto de conexión y transferencia del plástico fundido desde el cilindro hacia el sistema de colada del molde.

2.5.3. Unidad de Control y Accionamiento

Esta unidad integra el sistema de control y la fuente de potencia de la máquina.

Sistema de Control (MC6, APC plus): El "cerebro" de la máquina, encargado de monitorear y gestionar miles de parámetros del proceso (temperaturas, velocidades, presiones y posiciones) con precisión milimétrica (Krauss Maffei, 2025).

Unidad de Accionamiento: Es la fuente de potencia. En máquinas eléctricas de Krauss Maffei (series PX), esta potencia proviene de servomotores de alta eficiencia, mientras que en las hidráulicas (series CX) se utilizan bombas y válvulas para el control de presión y caudal.

2.5.4. Automatización y Sistemas Auxiliares

Esta sección se centra en los equipos que trabajan en conjunto con la prensa inyectora para garantizar la eficiencia, especialmente la reducción de los tiempos muertos al inicio y fin del ciclo.

Robots y Sistemas de Extracción (Automatización):

Los robots son cruciales para el tiempo de ciclo, ya que se encargan de la extracción rápida y precisa de la pieza y del bebedero o colada, asegurando que el molde pueda cerrarse inmediatamente para el siguiente ciclo. Los robots modernos son generalmente servomotorizados de 3 o 5 ejes y se sincronizan directamente con el sistema de control de la máquina (Krauss Maffei, 2025).

La velocidad del robot al entrar y salir del área de cierre impacta directamente en el tiempo no productivo total del ciclo (CEP-MEX, 2023).

Unidades de Control de Temperatura del Molde (TCU):

Aunque no son parte de la máquina en sí, son cruciales para la optimización del tiempo de ciclo. Las TCU controlan con precisión la temperatura del molde para acelerar la transferencia de calor desde el plástico. La estabilidad y exactitud de la temperatura del molde son determinantes en la duración de la fase de enfriamiento (Gestión De Compras, 2025).



Ilustración 4 Máquina inyectora Krauss Maffei

2.6 Componentes Principales de una Prensa Inyectora Wittmann Battenfeld:

Componentes Clave de las Prensas Inyectoras WITTMANN BATTENFELD:

Los sistemas de Battenfeld se caracterizan por su enfoque en la eficiencia energética y la alta precisión, factores críticos para la optimización del tiempo de ciclo. La tecnología actual de la marca se agrupa en varias series Power: EcoPower (totalmente eléctrica), MicroPower (micromoldeo) y MacroPower (gran tonelaje) (WITTMANN BATTENFELD, 2025).

2.6.1. Unidad de Cierre

Esta unidad se centra en el movimiento rápido y el ahorro de espacio. Mecanismo de Cierre de Rodillera: Máquinas como la serie EcoPower Xpress utilizan un sistema de rodillera de 5 puntos, sellado y autocalibrado, conocido por ser eficiente y apto para tiempos de ciclo extremadamente cortos (WITTMANN BATTENFELD, 2025).

Movimiento Optimizado: En las máquinas totalmente eléctricas, los movimientos de apertura y cierre son controlados por servomotores enfriados por agua. Además, utilizan baleros lineales para el desplazamiento de la platina móvil, reduciendo la fricción y permitiendo movimientos rápidos y precisos.

Tecnología KERS: Battenfeld patentó el sistema de Recuperación de Energía Cinética (KERS), el cual convierte la energía liberada durante el frenado del plato móvil en energía eléctrica, que luego se utiliza para otras funciones como la calefacción del barril, mejorando la eficiencia general del ciclo (WITTMANN BATTENFELD, 2025).

2.6.2. Unidad de Inyección

El control preciso del husillo es clave para la calidad y la velocidad de dosificación.

Plastificación Personalizada: La compañía ofrece diferentes sistemas de plastificación con husillos diseñados específicamente para cada tipo de material, asegurando una masa fundida homogénea y optimizando el tiempo de dosificación.

Inyección de Alta Velocidad: Las unidades de inyección son potentes y altamente dinámicas. En las máquinas eléctricas, los movimientos de inyección y retracción del tornillo son impulsados mediante una transmisión directa. La presión se mide directamente en la transmisión para una precisión superior, lo cual es vital para el control del llenado y el tiempo de compactación (WITTMANN BATTENFELD, 2025).

2.6.3. Unidad de Control y Automatización

Aquí reside la capacidad de Battenfeld para la optimización inteligente y la interconexión. Sistema de Control UNILOG B8: Este control es la plataforma universal de la marca, diseñado para simplificar la operación de procesos complejos. Permite la integración de paquetes de software inteligente (como HiQ-Melt o HiQ-Flow) que permiten a la máquina autoajustarse ante

cambios de viscosidad o variaciones ambientales, manteniendo la estabilidad del ciclo y, por ende, la calidad de la pieza (WITTMANN BATTENFELD, 2025).

WITTMANN 4.0: Este es el concepto de la compañía para la Industria 4.0, que permite la interconectividad y la transferencia de datos entre la máquina de moldeo por inyección, los robots (WITTMANN) y todos los equipos auxiliares (secadores, dosificadores, TCU), garantizando una celda de producción completa con máxima eficiencia de ciclo (WITTMANN BATTENFELD, 2025).

Integración de Robots (WITTMANN): A diferencia de Sepro, Battenfeld forma parte del Grupo WITTMANN, que fabrica sus propios robots y equipos auxiliares, lo que asegura una integración Plug and Produce y un control unificado desde el UNILOG B8, optimizando el tiempo de interfaz entre la prensa y el robot.



Ilustración 5 Máquina inyectora WITTMANN BATTENFELD

2.7 Componentes Principales de una Prensa Inyectora Engel:

Las prensas ENGEL se destacan por su enfoque en la integración total (celda completa) y las soluciones modulares, permitiendo una alta estabilidad del proceso y movimientos paralelos rápidos, factores que impactan directamente en el tiempo de ciclo (ENGEL, 2025).

2.7.1. Unidad de Cierre

Esta unidad se centra en la velocidad y la reducción de los tiempos muertos, especialmente en los modelos de gran tonelaje para autopartes.

Doble Platina (Serie dúo): Mecanismo de dos platinas para alto tonelaje, con un cilindro de carrera corta. El diseño de doble platina reduce la longitud total de la máquina, y la corta carrera del cilindro permite una formación de presión más rápida, lo que acorta los tiempos muertos del ciclo (ENGEL, 2025).

Sistema de Accionamiento: Puede ser completamente eléctrico (e-motion) o servo-hidráulico (ecodrive). El sistema e-motion ofrece la máxima precisión y repetibilidad en la posición del molde. El sistema ecodrive ajusta el consumo de energía y caudal a la demanda real. Ambos aseguran movimientos rápidos y eficientes, cruciales para reducir el tiempo de apertura/cierre (Rosato & Rosato, 2011).

2.7.2. Unidad de Inyección

- El diseño se enfoca en la inyección de alta velocidad y la homogeneidad de la masa:
- Unidades de Inyección de Alto Rendimiento: Diseño modular con husillos optimizados y alta dinámica. Permiten altas velocidades de inyección (e-speed), esenciales para el moldeo de piezas de pared delgada (comunes en automoción). Esto reduce el tiempo de llenado y asegura que la pieza se forme antes de la solidificación prematura (Atienza y Climent, 2024).
- Unidad de Inyección Pivotante (Opcional): Permite retirar o cambiar rápidamente el cilindro plastificador. Aumenta la flexibilidad y reduce el tiempo de inactividad (Down time) por mantenimientos o cambios de material, minimizando el impacto en la eficiencia productiva.

2.7.3. Unidad de Control e Integración

Aquí reside la capacidad de ENGEL para la optimización inteligente y la automatización integrada de la celda de producción.

- Sistema de Control CC300: Plataforma de mando unificado y fácil de usar. Gestiona toda la celda (prensa, robot, periféricos) desde una única pantalla. Permite programar movimientos en paralelo (ej. dosificación durante el enfriamiento) para solapar procesos y reducir el tiempo de ciclo total (ENGEL, 2025).
- Sistemas de Asistencia Smart Machine: Paquetes digitales como IQ weight control (peso constante) y IQ Flow control (temperatura constante). Estos sistemas de auto optimización detectan y compensan automáticamente las variaciones. Al estabilizar el proceso de inyección y enfriamiento, se reduce el tiempo de ciclo innecesario causado por las fluctuaciones (ENGEL, 2025).

2.8 Resinas.

En el contexto de la ingeniería de materiales, una resina plástica es una sustancia orgánica, sólida o de alta viscosidad, que proviene de fuentes naturales o sintéticas y que tiene la propiedad de ser moldeable bajo la aplicación de calor y presión (Shrivastava, 2018). Industrialmente, las resinas son polímeros de alto peso molecular que se presentan en forma de pellets o granza para facilitar su transporte y alimentación en la unidad de inyección (Atienza y Climent, 2024).

Existen dos categorías principales según su comportamiento térmico:

- Termoplásticos: Son resinas que pueden fundirse y solidificarse repetidamente sin sufrir cambios químicos drásticos en su estructura, lo que permite su reciclaje y paletizado (Fu et al., 2020). Es el tipo de resina utilizada en materiales como Hostacom, Bayblend y ASA.

- Termoeestables: Aquellas que, tras un proceso de curado químico o térmico, forman enlaces cruzados permanentes y no pueden volver a fundirse.

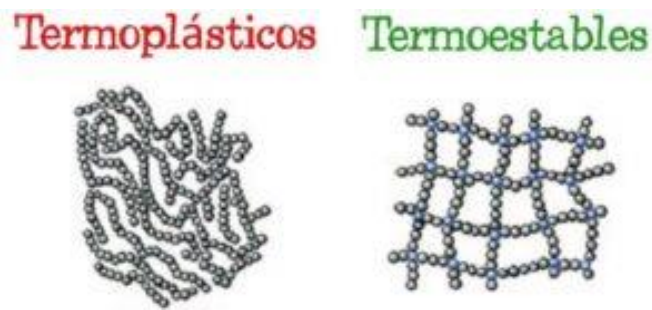


Ilustración 6 Tipos de resinas

2.8.1 Familia Hostacom (Polipropileno Reforzado)

Las resinas Hostacom son compuestos de polipropileno (PP) modificados, generalmente con cargas minerales como talco o fibras de vidrio. Se caracterizan por ofrecer una excelente rigidez y resistencia al impacto, siendo comunes en componentes automotrices (Shrivastava, 2018). Debido a su base de polipropileno, poseen un calor específico alto, lo que significa que el control térmico en el molde es vital para evitar ciclos largos de enfriamiento debido a su naturaleza cristalina (Fu et al., 2020).

2.8.2 Bayblend T65 y T85 (PC+ABS)

El Bayblend es una mezcla (blend) de Policarbonato (PC) y Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS). Estas resinas combinan la alta resistencia térmica y mecánica del PC con la procesabilidad del ABS (BaySystems, 2024).

- T65: Es un grado estándar con alta tenacidad y resistencia al calor.
- T85: Ofrece una resistencia térmica superior y mejores propiedades mecánicas que el T65. Desde la perspectiva de la optimización, estas resinas son amorfas, lo que permite una contracción más predecible; sin embargo, requieren un secado riguroso antes de la inyección para evitar defectos que prolonguen los tiempos de ajuste y desperdicio (BaySystems, 2024).

2.8.3 ASA LG (Acrilonitrilo Estireno Acrilato)

El ASA de LG Chem es un termoplástico que ofrece una resistencia excepcional a la intemperie y a la radiación UV, superando al ABS en aplicaciones exteriores (LG Chem, 2023). Al tener una ventana de procesamiento similar al ABS, la optimización de su tiempo de ciclo depende directamente de la eficiencia de la unidad de inyección y la temperatura de distorsión térmica (HDT) del material para permitir una expulsión rápida (Fu et al., 2020).

2.8.4 Finalloy 15x15

El Finalloy es un compuesto elastomérico de TPO (Olefinas Termoplásticas) diseñado para aplicaciones que requieren un equilibrio entre flexibilidad y rigidez. Al ser un material "suave" o elastomérico, el tiempo de ciclo puede verse afectado por la necesidad de una expulsión más lenta para evitar deformaciones en la pieza caliente (Shrivastava, 2018).

2.8.5 El Proceso de Peletizado (Pelletizing)

El paletizado es el proceso de transformación del material plástico (ya sea virgen o recuperado) en pequeñas esferas o cilindros denominados pellets o granza.

- **Homogeneización del Material:** El proceso asegura que aditivos, pigmentos y resinas base estén distribuidos uniformemente. Una forma y tamaño de pellet constante es crucial para que el husillo de la inyectora tenga una alimentación uniforme, evitando variaciones en el tiempo de dosificación que desestabilicen el tiempo de ciclo (Atienza y Climent, 2024).
- **Importancia en el Reciclaje:** En una planta de inyección, el paletizado de las coladas o piezas de rechazo permite reintroducir el material al ciclo productivo. Sin embargo, se debe controlar la degradación térmica durante el paletizado, ya que un material degradado cambia su índice de fluidez (MFI), alterando los tiempos de llenado y enfriamiento previamente optimizados (Mamani, 2019).

Influencia del Material en la Automatización (KUKA y KraussMaffei)

- La naturaleza de la resina influye en cómo se programan los periféricos:

Para materiales con baja rigidez (como Finalloy), los robots KUKA deben utilizar pinzas (grippers) con presión controlada para no marcar la pieza (KUKA, 2019).

En resinas de ingeniería como Bayblend, la precisión de las máquinas KraussMaffei asegura que la temperatura de la masa sea constante, lo que permite al robot operar con una ventana de tiempo de extracción mucho más estrecha y eficiente (KraussMaffei, 2023).



Ilustración 7 Resina de paletizado

2.9 Herramientas de calidad.

2.9.1 El Diagrama de Ishikawa.

El Diagrama de Ishikawa, también denominado diagrama de espina de pescado es una herramienta técnica diseñada para la gestión de la calidad que permite la identificación visual y sistemática de las causas raíz que originan un problema o un efecto específico dentro de un proceso productivo. Esta metodología facilita la transición de un análisis empírico a uno basado

en datos, organizando las variables en categorías lógicas para evitar la omisión de factores críticos (Ishikawa, 1986).

2.9.1.1 Categorización por el Método de las 6M.

Para garantizar un análisis exhaustivo en entornos industriales, las causas potenciales se agrupan en seis dimensiones fundamentales:

- **Mano de Obra:** Evalúa si el personal cuenta con la capacitación, competencia y estado físico necesario para ejecutar las tareas sin errores.
- **Maquinaria:** Analiza la capacidad técnica, el estado de mantenimiento y la precisión de los equipos e infraestructura involucrados.
- **Métodos:** Examina la estandarización de los procedimientos, las instrucciones de trabajo y la secuencia lógica de las operaciones.
- **Materiales:** Se enfoca en la calidad de los insumos, la variabilidad de la materia prima y la gestión de inventarios.
- **Medición:** Revisa la confiabilidad de los datos obtenidos, la calibración de los dispositivos de control y el sistema de monitoreo de variables.
- **Medio Ambiente:** Considera el impacto de factores externos como la temperatura, iluminación, ruido y espacio físico sobre el desempeño del sistema (Montgomery, 2019).
- **Utilidad y Aplicación en la Ingeniería**

La implementación de esta herramienta es crucial para el pensamiento sistémico, ya que permite a los equipos de ingeniería priorizar áreas de intervención. Al segregar las causas en niveles primarios y secundarios, se facilita el uso posterior de herramientas estadísticas para la toma de decisiones basada en hechos y no en suposiciones (Besterfield, 2018).

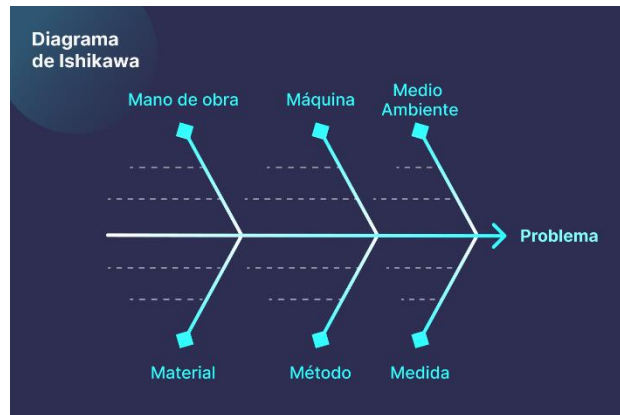


Ilustración 8 Formato de diagrama de ishukawa

2.9.2 Pareto

El Análisis de Pareto, fundamentado en el principio de la "escasez vital", es una técnica de discriminación de datos que permite identificar el pequeño porcentaje de causas que generan la mayor parte de los efectos observados en un sistema. En el ámbito de la gestión de la calidad, esta herramienta se utiliza para separar los "pocos vitales" de los "muchos triviales", optimizando así el uso de recursos limitados al enfocarse en los problemas que ofrecen el mayor retorno sobre la Regla del 80/20

Este análisis se basa en el principio de que, aproximadamente, el 80% de los problemas provienen del 20% de las causas. Al aplicar este criterio, las organizaciones pueden priorizar sus esfuerzos de corrección en las categorías que acumulan la mayor frecuencia de defectos o pérdidas, permitiendo una resolución de problemas mucho más estratégica y eficiente que si se intentaran abordar todas las causas simultáneamente (Evans & Lindsay, 2020).

2.9.2.2 Construcción y Elementos del Diagrama.

Un Diagrama de Pareto combina un gráfico de barras y un gráfico de líneas para representar visualmente la situación:

- Barras Verticales: Representan la frecuencia o el costo de cada categoría de forma descendente, de izquierda a derecha.
- Curva Acumulada (Ojiva): Una línea que muestra el porcentaje acumulado de todas las categorías, lo que facilita la visualización del punto donde se alcanza el 80% del impacto total.
- Eje de Ordenadas: Generalmente presenta dos escalas; la izquierda para el valor absoluto (frecuencia/costo) y la derecha para el valor porcentual acumulado (Montgomery, 2019).

2.9.2.3 Aplicación en la Ingeniería de Procesos.

En la ingeniería industrial, el Pareto es indispensable para la etapa de diagnóstico. Permite validar hipótesis sobre fallas recurrentes y sirve como una herramienta de comunicación efectiva ante la dirección, ya que cuantifica el impacto económico o productivo de las deficiencias identificadas. Además, facilita la comparación de escenarios "antes y después" para medir la efectividad de las mejoras implementadas (Besterfield, 2018). inversión de mejora (Juran, 2010).

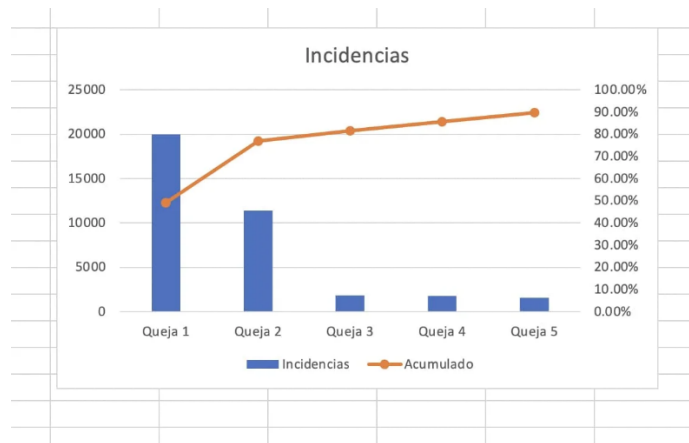


Ilustración 9 Ejemplo de diagrama de Pareto

2.9.3 5W+1H

El método 5W+1H es una técnica analítica de gestión de la calidad utilizada para la descripción exhaustiva de un problema, situación o proceso. Su nombre proviene de las iniciales

en inglés de seis preguntas fundamentales: Who (Quién), What (Qué), Where (Dónde), When (Cuándo), Why (Por qué) y How (Cómo). El objetivo principal de esta herramienta es eliminar ambigüedades durante la fase de diagnóstico, asegurando que todos los involucrados tengan una comprensión unificada de la realidad analizada (Besterfield, 2018).

2.9.3.1 Dimensiones de la Herramienta.

Para que el análisis sea efectivo, cada una de las interrogantes debe ser respondida con datos objetivos y verificables:

- ¿Qué? (What): Define el objeto, la acción o el defecto específico que se está observando. Se enfoca en la naturaleza del fenómeno.
- ¿Quién? (Who): Identifica a las personas, departamentos o equipos involucrados, ya sea porque detectaron el problema o porque forman parte del proceso afectado.
- ¿Dónde? (Where): Localiza geográficamente o dentro de una línea de producción el punto exacto donde ocurre el evento.
- ¿Cuándo? (When): Establece la temporalidad, frecuencia y momentos específicos en los que se manifiesta la situación.
- ¿Por qué? (Why): Explora la justificación o el motivo de la existencia del problema (sirve como preludio al análisis de causa raíz).
- ¿Cómo? (How): Describe la secuencia de eventos, el modo de operación o las circunstancias bajo las cuales se desarrolla el fenómeno (Evans & Lindsay, 2020).

2.9.3.2 Utilidad en la Planificación y Mejora Continua.

En la ingeniería de procesos, el 5W+1H es indispensable para la elaboración de planes de acción. Al definir con precisión el escenario actual, la herramienta facilita la asignación de responsabilidades y el establecimiento de cronogramas realistas. Además, es comúnmente

utilizada en la redacción de informes técnicos y en la metodología 8D para la resolución de problemas complejos, ya que proporciona una estructura lógica que evita saltar a conclusiones prematuras sin haber comprendido el contexto total (Montgomery, 2019).

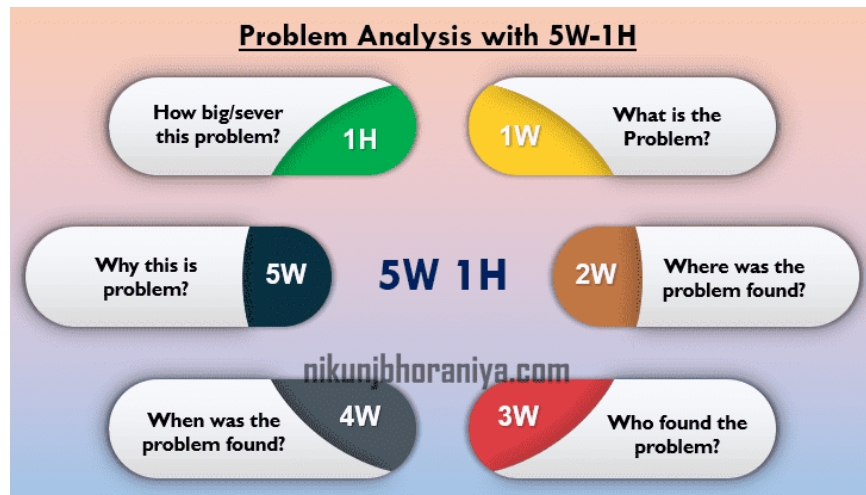


Ilustración 10 Formato de 5W+1H

2.9.4 PDCA.

El Ciclo PDCA, también conocido como Círculo de Deming o PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), es una metodología de gestión interactiva utilizada para lograr la mejora continua en procesos y sistemas. Su estructura cíclica garantiza que la optimización no sea un evento aislado, sino un proceso constante de aprendizaje y ajuste que permite a las organizaciones adaptarse a nuevos estándares de eficiencia (Evans & Lindsay, 2020).

2.9.4.1 Etapas del Ciclo.

- El método se divide en cuatro fases consecutivas que deben ejecutarse en orden estricto para asegurar la validez de los resultados:
- Planificar (Plan): En esta fase se identifica el problema o la oportunidad de mejora. Se establecen los objetivos, se definen los indicadores clave de desempeño (KPIs) y se diseña el plan de acción basado en un análisis previo de datos.

- Hacer (Do): Consiste en la ejecución de las acciones planificadas, preferiblemente a pequeña escala o mediante pruebas piloto. Durante este paso, es fundamental recolectar datos sobre el comportamiento del proceso bajo las nuevas condiciones.
- Verificar (Check): Se analizan los resultados obtenidos en la fase anterior y se comparan con los objetivos establecidos en la planificación. El objetivo es identificar desviaciones, errores o éxitos significativos (Montgomery, 2019).
- Actuar (Act): Si los resultados son satisfactorios, se procede a la estandarización de las mejoras. En caso contrario, se analizan las causas de las fallas para iniciar un nuevo ciclo con los ajustes necesarios.

2.9.4.2 Importancia en la Gestión de la Calidad.

La implementación del PDCA permite una transición de la "administración por reacción" a una "administración proactiva". En la ingeniería moderna, esta herramienta es la base de sistemas de gestión internacionales como las normas ISO. Su aplicación sistemática reduce la variabilidad, elimina desperdicios y fomenta una cultura organizacional enfocada en la excelencia operativa, asegurando que cada iteración del ciclo eleve el nivel de calidad del sistema (Besterfield, 2018).

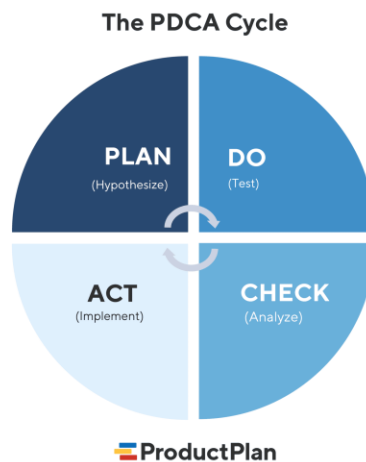


Ilustración 11 Formato de PDCA

2.9.5 5S.

La metodología de las 5S es un sistema de gestión japonés enfocado en la organización, orden y limpieza del entorno de trabajo para mejorar la productividad, la seguridad y el clima laboral. Este concepto no se limita únicamente a la higiene física, sino que constituye una filosofía de disciplina operativa que busca eliminar los desperdicios (muda) y optimizar los flujos de proceso mediante la estandarización del área de trabajo (Besterfield, 2018).

2.9.5.1 Las Etapas de la Metodología.

El proceso se compone de cinco fases consecutivas, donde el éxito de cada una depende de la consolidación de la anterior:

- Seiri (Clasificar): Consiste en distinguir entre los elementos necesarios e innecesarios en el área de trabajo. Los objetos que no añaden valor se descartan o se mueven a un área de almacenamiento separada, liberando espacio crítico.
- Seiton (Ordenar): Se basa en el principio de "un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar". Se establecen ubicaciones fijas y señalizadas para las herramientas e insumos, minimizando los tiempos de búsqueda.
- Seiso (Limpiar): Implica la eliminación de la suciedad, pero también la inspección de los equipos. El objetivo es identificar anomalías (fugas, desgastes, ruidos) de forma temprana durante la limpieza rutinaria.
- Seiketsu (Estandarizar): En esta fase se crean normas, códigos de colores y ayudas visuales para asegurar que las primeras tres "S" se mantengan de manera uniforme en toda la organización.
- Shitsuke (Disciplina): Representa el compromiso de convertir estas prácticas en un hábito cotidiano. Se fomenta la autodisciplina y se realizan auditorías periódicas para evitar el regreso a las condiciones anteriores (Evans & Lindsay, 2020).

2.9.5.2 Impacto en la Ingeniería Industrial.

La implementación de las 5S es considerada el cimiento de cualquier iniciativa de manufactura esbelta (Lean Manufacturing). Al reducir el desorden y mejorar la ergonomía, se disminuyen significativamente los riesgos de accidentes y los errores de producción. Además, un entorno organizado facilita la detección visual inmediata de problemas en la línea, lo que permite una respuesta técnica más ágil y eficiente (Montgomery, 2019).



Ilustración 12 Formato de 5S

2.9.6 Cronometraje o toma de tiempos.

El estudio de tiempos o cronometraje es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea específica, realizada bajo condiciones determinadas. Su propósito fundamental es analizar los datos para obtener el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma o estándar de ejecución preestablecido (Kanawaty, 1996).

2.9.6.1 Procedimiento Técnico del Cronometraje.

Para que una toma de tiempos sea válida y estadísticamente representativa, se deben seguir pasos rigurosos que aseguren la precisión del estándar obtenido:

- **Descomposición en Elementos:** La tarea se divide en partes pequeñas y constantes denominadas "elementos". Esto permite identificar qué movimientos agregan valor y cuáles son desperdicios o tiempos muertos.
- **Selección del Operario:** Se debe observar a un operario calificado que posea la destreza y los conocimientos necesarios para realizar el trabajo a un ritmo normal y constante.
- **Determinación del Número de Ciclos:** No basta con una sola medición; es necesario calcular el tamaño de la muestra mediante fórmulas estadísticas para asegurar un nivel de confianza (generalmente del 95%) y un margen de error aceptable.
- **Valoración del Ritmo:** El analista debe ajustar el tiempo observado según la velocidad del operario, aplicando un factor de nivelación para obtener el "tiempo básico" o normal (Niebel & Freivalds, 2014).

2.9.6.2 Aplicación de Suplementos y Tiempo Estándar.

Una vez obtenido el tiempo básico, es indispensable añadir suplementos o tolerancias. Estos porcentajes adicionales compensan las necesidades personales del trabajador, la fatiga básica y las contingencias inevitables del entorno industrial (como esperas de material o ajustes técnicos). La sumatoria del tiempo básico más estos suplementos da como resultado el Tiempo Estándar, el cual es la base para la programación de la producción, el cálculo de costos y la evaluación de la eficiencia de la planta (Groover, 2020).

Utilidad en la Mejora de Procesos:

En la ingeniería industrial, el cronometraje es la herramienta base para la eliminación de cuellos de botella. Al medir con precisión cada fase de un ciclo (especialmente en procesos automatizados o semiautomáticos como la inyección), los ingenieros pueden identificar desviaciones respecto al diseño teórico y proponer mejoras técnicas sustentadas en datos cuantitativos reales (Meyers & Stephens, 2006).



Ilustración 13 Cronometraje o medida de tiempos

2.9.7 Checklist u hoja de liberación.

Las Hojas de Verificación, también conocidas como checklists o de control, son herramientas de recolección de datos diseñadas para compilar información de manera estructurada y en tiempo real. Su función principal es facilitar la captura de datos mediante un formato sencillo que permite identificar patrones, tendencias o errores sin necesidad de análisis estadísticos complejos inmediatos, sirviendo como la base primaria para otras herramientas de calidad (Ishikawa, 1986).

2.9.7.1 Tipos de Hojas de Verificación.

Dependiendo del objetivo del análisis, estas herramientas pueden clasificarse en diversas categorías:

- Para Registro de Defectos: Utilizadas para cuantificar cuántas veces ocurre una falla específica en un producto o proceso durante un periodo determinado.
- Para Localización de Defectos: Consisten en un esquema o dibujo del objeto donde se marcan los puntos exactos donde aparecen las anomalías (muy común en inspecciones visuales).

- Para Verificación de Pasos (Listas de Chequeo): Empleadas para asegurar que una secuencia de operaciones o medidas de seguridad se cumpla estrictamente, especialmente en arranques de maquinaria o cambios de molde.
- Para Distribución de Procesos: Formatos que permiten observar la variabilidad de una dimensión o medida específica, facilitando la construcción posterior de histogramas (Montgomery, 2019).

2.9.7.2 Importancia en el Control de Procesos.

La eficacia de una Hoja de Verificación radica en su diseño; debe ser lo suficientemente intuitiva para que cualquier operador pueda utilizarla con una capacitación mínima. En la ingeniería industrial, estas hojas eliminan la subjetividad y la dependencia de la memoria, garantizando que la recolección de información sea consistente. Además, proporcionan evidencia documental indispensable para procesos de auditoría y certificación de calidad, permitiendo que las decisiones de mejora se basen en hechos observados directamente en el área de trabajo (Besterfield, 2018).



Ilustración 14 Checklist u Hoja de verificación

Capítulo III: Metodología

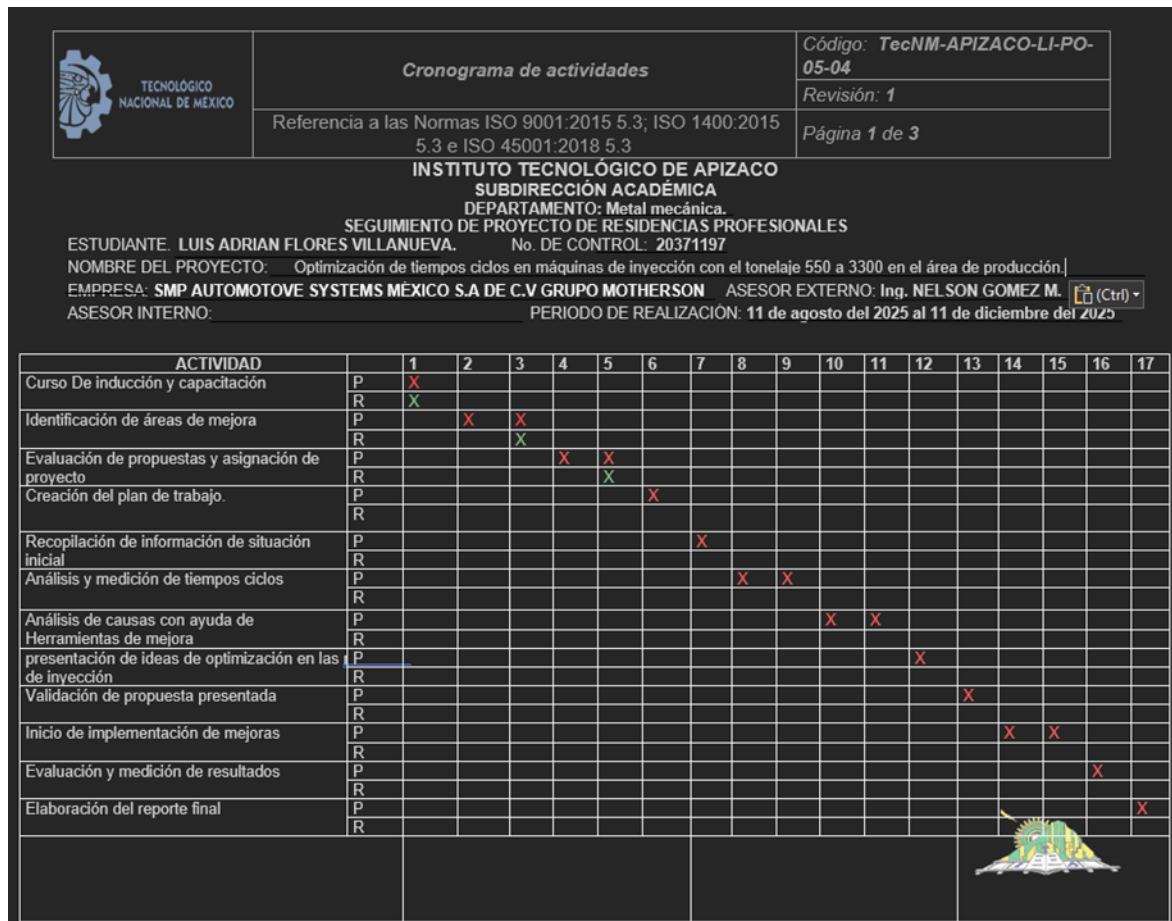


Ilustración 15 Cronograma de actividades según anteproyecto

3.1 Diseño de especificaciones

Con la finalidad de realizar el proyecto denominado con el nombre de “Optimización de tiempos ciclos en máquinas de inyección con el tonelaje 550 a 3300 en el área de producción” se han asignado una variedad de actividades con la finalidad de analizar y optimizar los tiempos ciclos que podemos encontrar en nuestras prensas inyectoras, todo esto con ayuda de herramientas de mejora continua que son las que nos ayudaran a realizar esta optimización, las actividades a realizar son las siguientes:

- Analizar los tiempos ciclos actuales
- Identificar las razones por las cuales hay tiempos ciclos elevados
- Identificar cuellos de botella con ayuda de herramientas de mejora continua
- Analizar movimientos de robot
- Analizar parámetros de las prensas inyectoras
- Elaborar propuesta de mejora en los hallazgos encontrados
- Implementación de mejoras de proceso
- Optimización de movimientos de robot
- Optimización de parámetros de máquinas inyectoras
- Analizar la importancia de un mantenimiento preventivo en los moldes de inyección
- Estandarización de nombres de programas
- Estandarizar procesos y capacitar al personal
- Desarrollo de Checklist para cumplimiento de procesos
- Evaluación de mejoras implementadas e impacto que se tuvo

3.2 Diseño detallado

3.2.1 Información detallada sobre el proceso actual:

La empresa Motherson ubicada en Zitlaltepec es la encargada de producir partes plásticas automotrices, esta cuenta con tres áreas: inyección, ensamble y pintura, este proyecto fue realizado en el área de inyección la cual cuenta con 25 máquinas las cuales están nombradas mediante su tonelaje este va desde las 550 toneladas hasta las 3300 toneladas, dentro de ellas nos encontramos con 3 diferentes marcas de las cuales son:

- Krauss Maffei
- Wittmann Battenfeld

- Engel

También entre estas nos encontramos con diferentes robots en máquina que son las que ayudan a automatizar los procesos, entre estos robots nos encontramos con las marcas como:

- Kuka
- Sepro
- Krauss Maffei

El uso de estos robots a veces no solo es para que saque la pieza y la entregue al operador, también es encargado en algunas máquinas de cortar coladas, pasar por un proceso de flameo, entre otras cosas, además de que estos procesos están acompañados de bandas transportadoras.

3.2.2 Proceso de inyección y recolección de la pieza.

Se inyecta el material (Resina), este es extraído de cajas de material las cuales están a pie de máquina estas cajas tiene material ya listo para ser usado, también unas vienen directamente de los secadores los cuales son los encargados de secar la resina, ya que esta siempre viene con un nivel de humedad y es necesario quitárselo.

La máquina empieza a inyectar el material que se encuentra en el husillo el cual es el encargado de fundir la resina y llevarla a la zona en la cual esta es inyectada.

Cuando el material es ingresado a la prensa inyectora este se encarga de dar la forma a la pieza y compactarla mediante el proceso de sostenimiento y enfriamiento, al pasar todo este tiempo la prensa abre y el robot toma la pieza la cual es entregada al operador, este es encargado de revisar la pieza, colocas sus diferentes etiquetas y en la mayoría de las máquinas también se encargan de quitar las coladas con las cuales las piezas salgan, si las piezas salen bien son

guardadas en sus racks y si no estas son tiradas al scrap y se para el proceso para dar solución al problema.

Después de este proceso las piezas son guardadas en distintos racks los cuales son transportados para el área de almacén o pintura en donde se encargan de pintar las piezas que, si llevan ese proceso, después de eso estas piezas se entregan al área de ensamble en donde todas las piezas son ensambladas y preparadas para ser mandadas al cliente.

Diagrama del proceso:

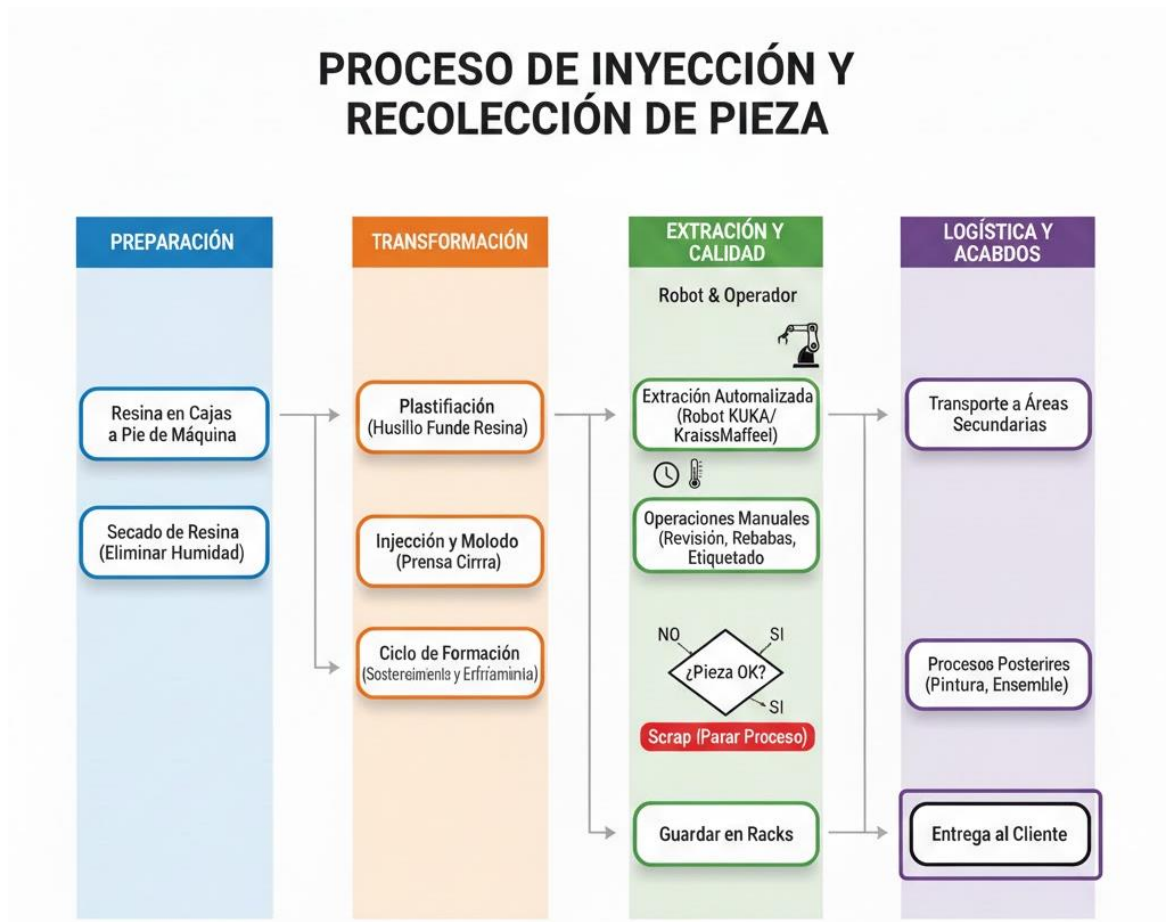


Ilustración 16 Diagrama de flujo del proceso

3.2.2 Identificación de problemas y limitaciones en proceso de inyección y tiempos ciclos:

Para la identificación de este proceso se llevarán a cabo las siguientes actividades las cuales son:

- Observación directa en el proceso de inyección
- Toma de tiempos del proceso de inyección
- Observación directa en el proceso de toma y entrega de pieza
- Registro de variables

Teniendo en cuenta la opinión de los ingenieros de proceso y operadores del área, se sabe que regularmente los tiempos ciclos en las máquinas de inyección no están optimizados y solo llegan a ser modificados para alguna modificación de alguna falla con alguna pieza en particular.

Al realizar las actividades correspondientes nos dimos cuenta que efectivamente los tiempos ciclos eran demasiado elevados, además de que en el proceso se podía ver que algunos parámetros no estaban optimizados, en algunas maquinas las prensas abrían más lento, cerraban más lento, sus aperturas no eran las adecuadas y sobre todo parámetros como el tiempo de enfriamiento sostenimiento estaban demasiado elevados, además de que igual la velocidades los botadores era baja , así como algunos movimientos y velocidades de los robots que se encargan de la toma y entrega de las piezas a los operadores, esto se hace notorio ya que los robots simplemente hacían recorridos innecesarios o las posiciones no eran las adecuadas, todo este tipo de malas optimizaciones provocaba que luego no se llegara al número de piezas que se solicitaban en tiempo y forma.

A continuación, adjuntamos evidencia de los movimientos y parámetros:

Cierre de prensa e inyección de plástico:



Ilustración 17 Proceso de inyección

Apertura de máquina de inyección y toma de pieza por parte del robot:

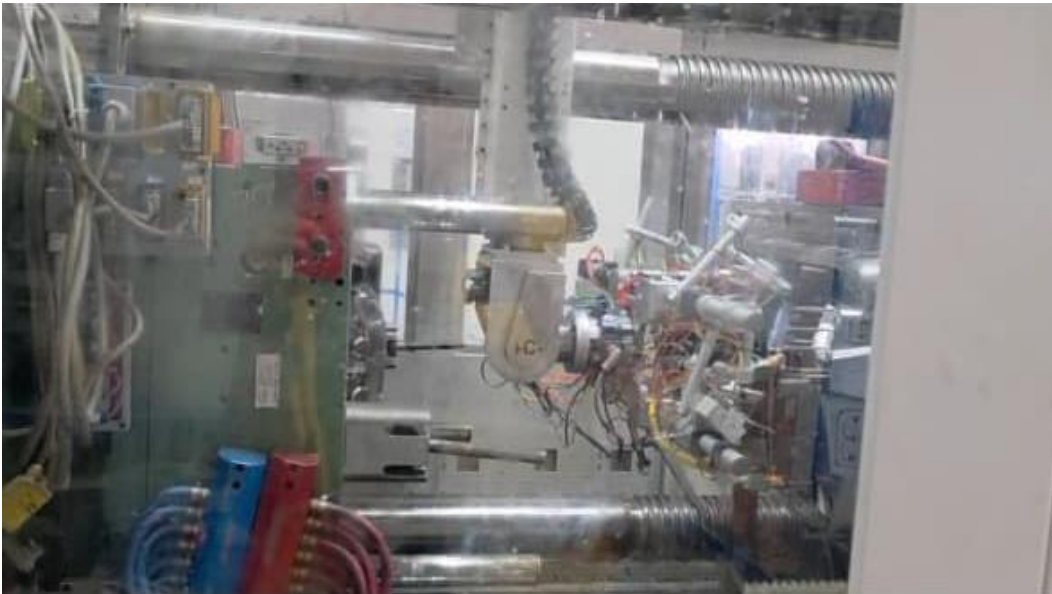


Ilustración 18 Extracción de pieza

La velocidad del robot era lenta a la hora entrar y salir para hacer la entrega al operador, esto hace que el tiempo ciclo sea más alto, además de que los botadores igual estaban bajos en velocidad.

Entrega de pieza a operador

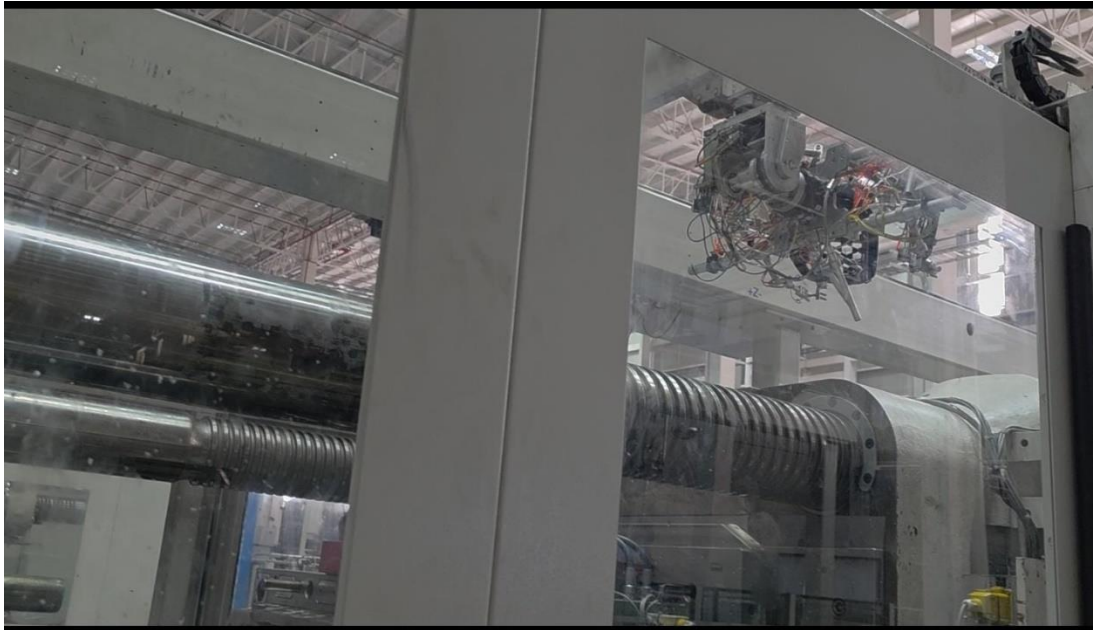


Ilustración 19 Entrega de pieza

parámetros de inyección:



Ilustración 20 Parámetros del proceso de inyección

Apertura y cierre de molde:

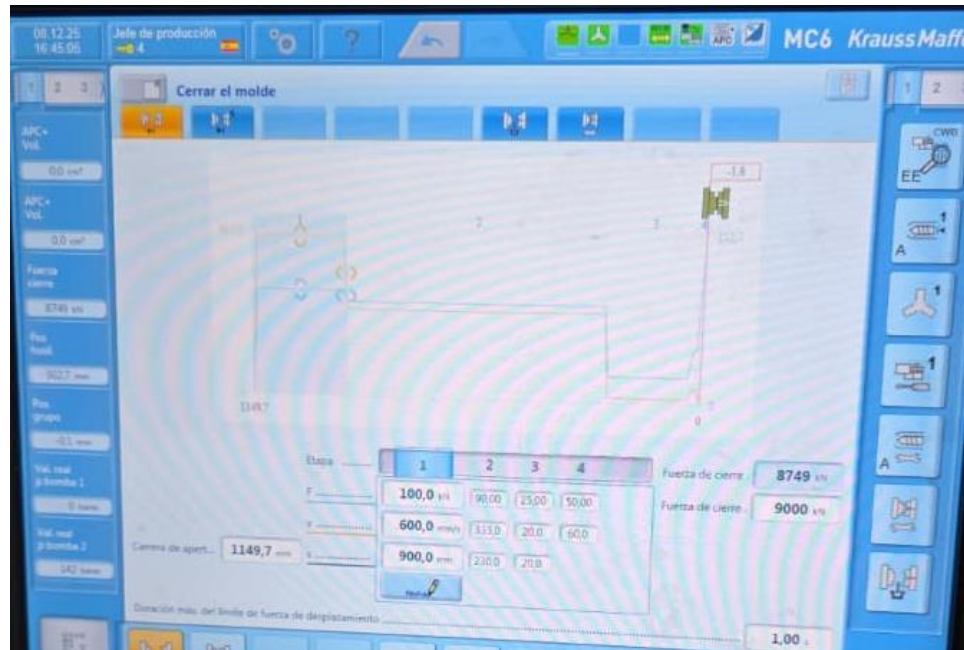


Ilustración 21 Parámetros de apertura y cierre de prensa

Tiempo ciclo en esos momentos:

The screenshot shows the MC6 KraussMaffei software interface with a table titled 'Ciclos de valores reales'. The table contains data for three cycles, including nominal values and actual measurements taken on 08.12.25 at 16:41:20 and 16:42:56. The table includes columns for date, type, cycle, and various time and pressure parameters.

Fecha	Tpo.	Ciclo	Tpo. cicl. C s	Tpo. iny. C s	Cojin. masa mm	Máx. Pr. hidr. bar	Tpo. plas. C s	Aceite °C	Conn. Rec. C mm	Conn. Pr. hidr. C bar	Carr. plas. C mm
Valor nominal	644		68,50	6,31	18,4	124,90	34,21	37	32,0	98,00	300,0
08.12.25 16:41:20	1		69,75	6,31	32,2	151,21	31,49	46	35,0	111,33	303,5
08.12.25 16:42:56	2		64,38	6,30	31,1	141,13	28,46	46	35,0	107,54	302,9
Valor nominal	2		70,00	6,31	28,5	128,89	33,18	37	32,0	98,00	300,0
										108,11	302,7

Ilustración 22 Tiempos ciclos tomados

Viendo y haciendo observaciones, junto con toma de tiempos se concluyó en que sí, los tiempos ciclos era elevados y que se podría optimizar el proceso, esto sin modificar nada de la pieza.

3.2.3 Análisis de mantenimientos preventivos:

Para este análisis solo nos enfocaremos al mantenimiento preventivo que se le puede dar tanto a los moldes de inyección como a los robots, enfocándonos más en la limpieza de estos y su lubricación.

3.2.3.1 Las áreas de mantenimiento con las que la empresa cuenta.

- **Mantenimiento de máquinas:**

Estos son los encargados de revisar y dar mantenimiento a las maquinas inyectoras, se encargan de la lubricación, limpieza e intervenciones inmediatas cuando alguna maquina tiene algún fallo o cualquier componente de la pieza falle.

- **Mantenimiento de moldes:**

Estos son encargados de los moldes, los cuales son montados para la inyección de plásticos, estos son los que solucionan problemas en el molde en fallas de:

- Botadores
- Marcas de cala
- Seguros de molde
- Sensores de molde
- Amarres de molde
- Noyós de molde

Estos no solucionan más problemas que se lleguen a encontrar, solamente problemas con los moldes de inyección.

- **Mantenimiento general:**

Este mantenimiento se encarga más de problemas relacionados con la planta, como fugas de materiales. Fuga de aire, alumbrado entre otras cosas, es un mantenimiento más general no está específico a alguna actividad

Cabe aclarar que cada área tiene sus respectivos equipos de mantenimiento, es decir los mantenimientos que se acaban de dar solamente están en el área de inyección, pintura y ensamble tiene sus respectivos mantenimientos.

En la búsqueda de un proceso de mantenimiento preventivo para lo ya mencionado nos encontramos en que no tiene n un proceso estandarizado para darle a estos componentes, lo único que se sabe es que a veces se les das limpieza, pero no seguidamente, lo que sí se sabe es que se les hecha un líquido que es conocido como desmoldante para que la pieza se logre sacar de forma más sencilla esto lo hace el equipo encargado de montar los moldes conocidos como Smeds o también en algunos casos los técnicos o ingenieros de proceso conocidos como Aweta , pero no se tiene un proceso preventivo de esto.

3.2.4 Elaboración de propuesta de mejoras basada en hallazgos iniciales

En este proceso de observación y toma de tiempos para la medición de tiempos ciclos también se logró percatar que, en el tema de mantenimiento preventivo para los moldes, más que nada a lo que es el proceso de extracción de la pieza en la cual la pieza desmoldea más lento y los botadores tardan en salir no está estandarizado y que para los robots tampoco.

Se hará una optimización en los tiempos ciclos en el área de producción, esto con ayuda de mediciones de tiempo y con el análisis y observaciones de parámetros de máquina, velocidades y movimientos de los robots, además de que se utilizaran herramientas de calidad

que nos ayudaran, también estandarizaremos los nombres de los programas, esto con la finalidad de que a la hora de hacer cambios de molde y cargar los programas sea más sencillo y fácil para el personal, también se estandarizara un procesos de mantenimiento preventivo de los moldes, para que cada que bajen se les haga una limpieza en los botadores y cavidades, también se harán formatos que se deberán llenar como tipo checklist con la finalidad de facilitar el proceso, este tipo de formatos se harán para llevar un control en todo este proceso

3.3 Simulación

3.3.1 Implementación de herramientas de calidad basada en información de los procesos:

5w+1H:

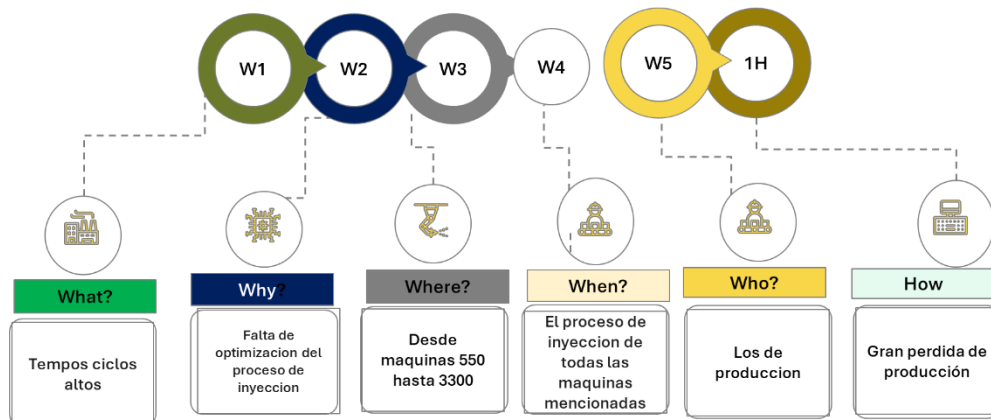


Ilustración 23 5W+1H

Diagrama de Ishikawa:

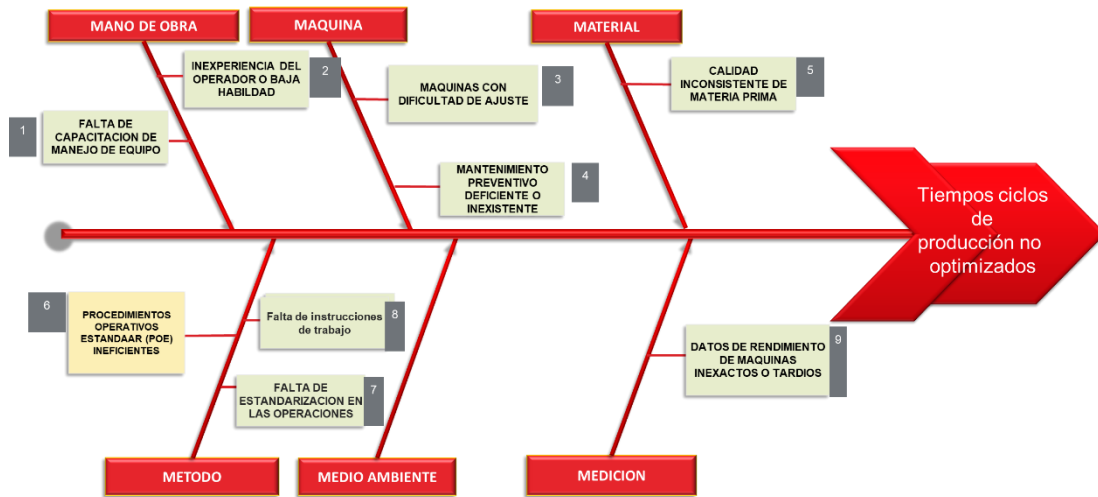


Ilustración 24 Ishikawa

Análisis de causa raíz enfocado a maquinaria y robot:



PDCA:



Ilustración 25 PDCA del proceso de mejora

3.3.2 Pruebas de proceso planeado

Después de un exhaustivo proceso de análisis y toma de tiempo en los tiempos ciclos de las máquinas de inyección se empezaron a realizar pruebas, las cuales incluían modificar los parámetros de las máquinas, este proceso se realizó en varias máquinas con diferentes moldes, al hacer este tipo de modificaciones también se analizaron las piezas que salían, llevándolas con calidad y ellos comprobando que las dimensiones siguieran en orden, ya que siempre que se realizan este tipo de cambios se tienen que realizar medidas de dimensiones para verificar que la calidad de las piezas siga en orden, también se modificaron velocidades en los robots, así como también movimientos demás que este proceso tenía, a continuación se adjuntan las pruebas de las diferentes máquinas a las cuales se les optimizó el tiempo ciclo, además de que

también se adjuntaron los parámetros antiguos contra los que se obtuvieron después de las modificaciones realizadas.

La primera modificación fue al molde de inyección con el nombre Q5NG-042 montado en la prensa de inyección fue en la 1150-3, se debe aclarar que la empresa ya tenía un listado de máquinas con sus respectivos moldes a los cuales se les quería realizar esta optimización de tiempos ciclos



Fecha	Tpo.	Ciclo	Tpo. ciclo C	Tpo. iny C	Coin. masa mm	Más. Pr. hidr. bar"	Tpo. plas. C	Acabte °C	Conm. Rec. C	Conm. Pr. hidr. C bar"	Carr. plas. C mm
Valor nominal	644		68.50	6.31	19.4	124.90	34.21	37	32.0	98.00	300.0
08.12.25 16:41:20	1		69.75	6.31	32.2	151.21	31.49	46	35.0	111.33	303.5
08.12.25 16:42:56	2		64.38	6.30	31.1	141.13	28.46	46	35.0	107.54	302.9
Valor nominal	2		70.00	6.31	28.5	128.99	33.18	37	32.0	98.00	300.0
								46	35.0	108.11	302.7

Ilustración 26 Tiempo ciclo manejado antes de la prueba

esta es conocida como tabla de calidad, encargada de resumir parámetros y tiempos ciclos, esta sirve para el personal de calidad que son los encargados de revisar que estos estén en orden, esos tiempos ciclos eran los que ese molde manejaba en esa prensa inyectora antes de empezar a realizar modificaciones y pruebas, estos datos también se corroboraron con mediciones de tiempos y se concluyó en que las maquinas suelen fallar en ocasiones, puede que cada 3 o cada 4 de un valor más alto de lo que debería pero al hacer la medición con un cronometro el tiempo ciclo se mantuvo en una media de 69.54.

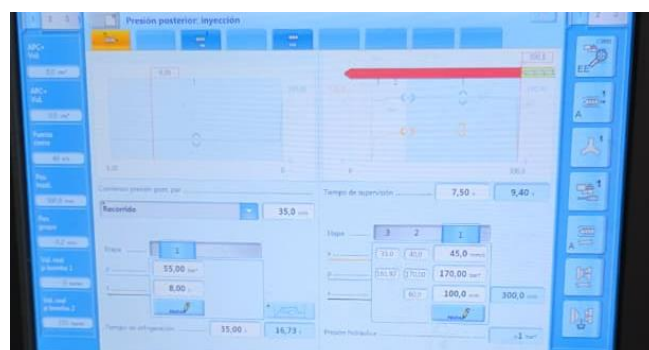


Ilustración 27 Parámetros de inyección antes de ajustes

Estos son los parámetros de inyección en donde nos encontramos lo que es tiempo de sostenimiento, tiempo de inyección y tiempo de enfriamiento.

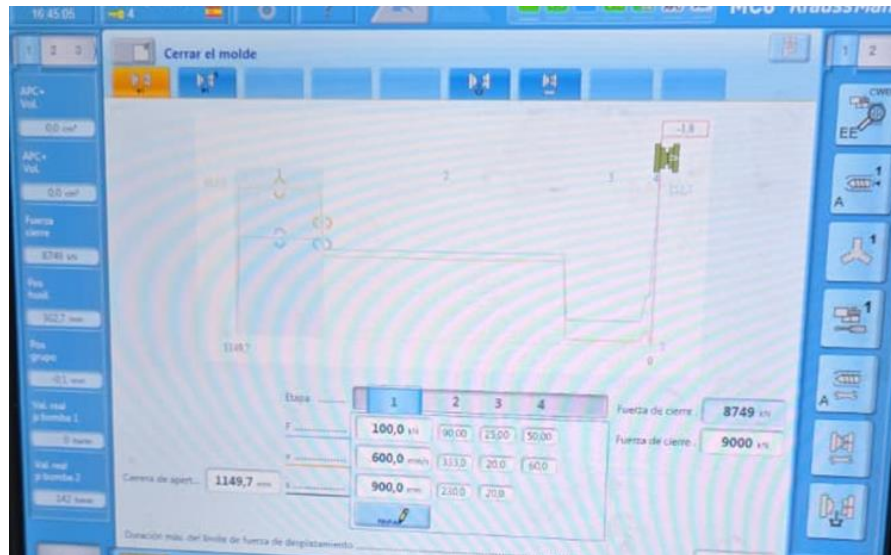


Ilustración 28 Parámetros de fuerza de cierre y apertura de prensa

Estos parámetros de las maquinas son apertura y cierre de prensa, en estos parámetros se puede modificar fuerza de cierre, velocidades de apertura y cierre de la maquina inyectora.

Después de obtener estos datos y hacer las observaciones correspondientes se empezaron a realizar las pruebas de optimización en la maquina ya mencionada como 1150-3 con el molde Q5NG-042.

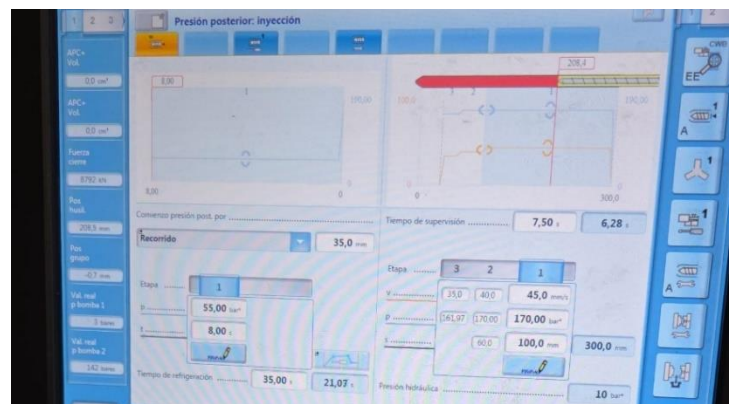


Ilustración 29 Parámetros de inyección modificados del NG-42

En esta prueba solo se pudieron modificar la presión hidráulica con la que contaba, la que tenía era de -1 bar y se le modifico a 10 bares es decir aumentamos la presión que esta tenía.

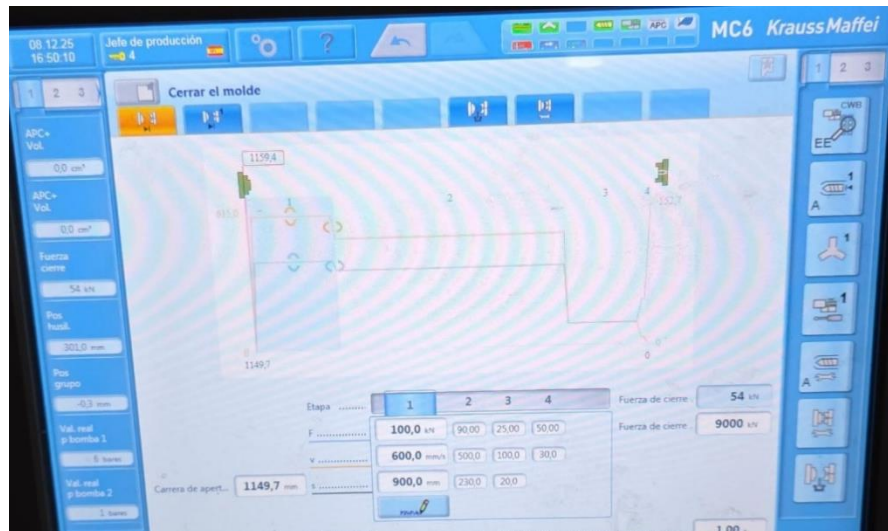


Ilustración 30 Ajustes de cierre de prensa NG-042

En los parámetros de cierre de molde, se aumentó la velocidad desde la segunda etapa hasta la cuarta, la segunda tenía el valor de 500 mm/s y se le modifico a 330 mm/s la tercera tenía el valor de 100 mm/s y se le modifico a 20 mm/s y la última etapa contaba con 30 mm/s y se le modifico a 60 mm/s. Esas fueron las modificaciones de los parámetros de cierre de prensa.

08.12.25 16:47:55	3	64,12	6,29	31,0	141,91	28,24	46	35,0	108,11	302,7
08.12.25 16:49:03	4	67,99	6,28	30,5	139,29	32,19	46	35,0	105,95	302,4
08.12.25 16:50:11	5	65,57	6,28	30,8	143,71	30,45	46	35,0	107,16	302,0
08.12.25 16:53:25	6	62,17	6,30	31,6	144,52	30,33	46	35,0	109,10	303,0
08.12.25 16:54:28	7	65,58	6,28	30,5	139,93	31,63	46	35,0	105,95	302,0

Ilustración 31 Parámetros obtenidos con los ajustes del NG-042

Después de estos cambios realizados se obtuvieron los tiempos ciclos de la ilustración 23, estos tiempos ciclos se volvieron a medir con un cronometraje y se obtuvo una media de 64.25 a diferencia de antes de las modificaciones el tiempo ciclo era de 69.54 es decir que se logró bajar 5.3 segundos por cada pieza obtenida.

En estas pruebas se llevaba una pieza con control de calidad para que ellos obtuvieran mediciones de la pieza para verificar que el proceso no afectara a la pieza final, además de que se revisó que estas piezas no tuvieran detalles de calidad como rebaba, ráfagas, marcas de cala, deformación, burbujas, grietas, entre otros aspectos de calidad, después de la validación de calidad el proceso y modificaciones pueden ser utilizadas.

En esta prueba no se le modifico el proceso al robot ya que como son movimientos en cartesiano de este robot, pues no se le puede optimizar algo más, se intentó que las velocidades fueran más altas, pero afectaba al proceso, soltaba la pieza o no la tomaba bien, entonces se decidió dejar, así como estaba.

3.3.3 Estandarización de nombres de programa:

Después de las pruebas se buscó estandarizar los nombres de los programas, los cuales ya estaría actualizados con las modificaciones de los tiempos ciclos, esto con la finalidad de tener un control en las máquinas y para facilitar el cargar los programas a los encargados de los cambios de molde, ya que ellos también se encargan de cargar los programas, además de que no se tenía un nombre en específico para los programas, simplemente los guardaban con el nombre del molde y se guiaban por el programa más reciente, ya que la maquina te muestra la fecha en la que se creó el programa , así que se estandarizo de la siguiente forma: ACN-Nombre del molde + Robot. La razón por la cual se pusieron las siglas de ACN es porque tiene el significado de “Actualización Ciclos Nuevos” de forma abreviada, además de que la maquina guarda estos nombres en orden alfabética, y de esta forma lo mostraría primero a los encargados de cargar el programa.

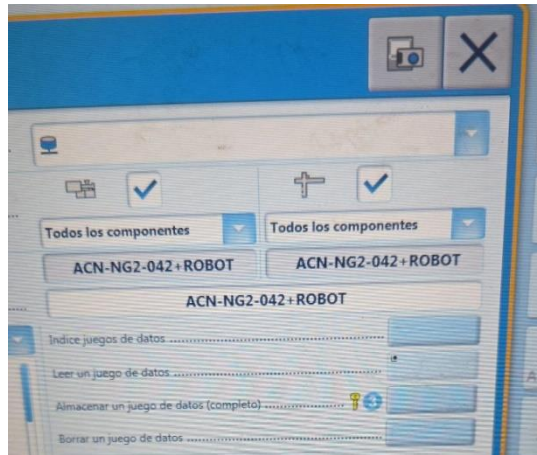


Ilustración 32 Estandarización de nombres de programas

3.3.4 Creación de Checklist de proceso para Smeds y Awetas:

CHECKLIST DE ARRANQUE / VALIDACIÓN

Proceso: _____ Máquina: _____

Molde: _____ Fecha: _____

Turno: _____

Revisión General

Ítem a verificar	Sí	No	No	No aplica
Carga de programa con formato ACN	☐	☐	☐	☐
Tiempo ciclo dentro del rango de aceptación	☐	☐	☐	☐
Limpieza de botadores del molde	☐	☐	☐	☐
Parámetros de máquina correctos (<i>inyección, presión, velocidades</i>)	☐	☐	☐	☐
Movimientos de robot correctos y sin interferencias	☐	☐	☐	☐
Área de trabajo limpia y ordenada	☐	☐	☐	☐

Validación por Rol

AWETA

Nombre: _____ Firma: _____

Fecha / Hora: _____ Fecha / Hora: _____

SMED

Nombre: _____ Firma: _____

Fecha / Hora: _____ Fecha / Hora: _____

Aprobación Final

Líder de Operadores de Producción

Nombre: _____ Firma: _____

Fecha / Hora: _____

Líder de AWETAS

Líder de Operadores de Producción

Nombre: _____ Firma: _____

Firma: _____

Ilustración 33 Checklist de proceso.

En este formato se buscó beneficiar con 3 aspectos importantes son los siguientes:

Primero un mantenimiento preventivo de limpieza, el cual incluye la limpieza y lubricación de los botadores de los moldes de inyección, esto con la finalidad de mantener en condiciones correcta los encargados de botar la pieza del molde para que el robot la tome y además de que

cuando este componente esta sucio y demás es mucho más lento y puede afectar nuestro tiempo ciclo, ya que tardaría más en botar la pieza inyectada.

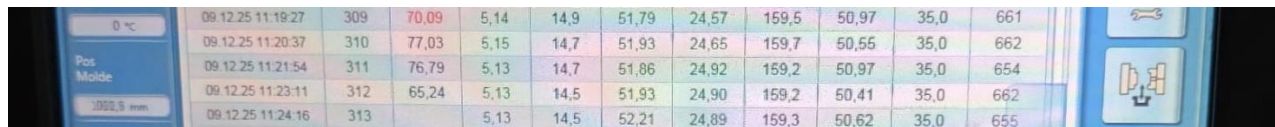
Como segundo punto importante la validación del líder de Awetas y líder de operadores de producción, este proceso lo inicia haciendo el Smed encargado del cambio de molde, después verifica un Aweta y este proceso es liberado por los dos primeros ya mencionados, así se verifica que realmente este proceso este en orden.

Por último, también se buscó que en este checklist se mantenga el orden también llamado 5s que en la industria de producción es importante tener este concepto siempre en todas las áreas.

3.4 Implementación del proceso y pruebas.

Después de la primera prueba se empezó con la implementación del proceso ya realizado en los moldes y maquinas que ya se tenía planeado reducir el tiempo ciclo, en estos procesos se realizó lo mismo que en la primera prueba que realizamos, en algunos casos simplemente se optimizaron velocidades de robot y no se modificaron parámetros por que afectaban la pieza final, así que se buscaron soluciones y una de ellas era la modificación de velocidades de robot, así como movimientos del mismo, además de que se implementaron los formatos realizados, a continuación se mostraran las evidencias del proceso completamente implementado:

El siguiente fue el molde nombrado como Q5NG-008 en la maquina 1300-1



09.12.25 11:19:27	309	70,09	5,14	14,9	51,79	24,57	159,5	50,97	35,0	661
09.12.25 11:20:37	310	77,03	5,15	14,7	51,93	24,65	159,7	50,55	35,0	662
09.12.25 11:21:54	311	76,79	5,13	14,7	51,86	24,92	159,2	50,97	35,0	654
09.12.25 11:23:11	312	65,24	5,13	14,5	51,93	24,90	159,2	50,41	35,0	662
09.12.25 11:24:16	313		5,13	14,5	52,21	24,89	159,3	50,62	35,0	655

Ilustración 34 Tiempos ciclos registrado antes de modificación NG-008

Este es el tiempo ciclo registrado antes de realizar los cambios y hacer sus pruebas y tomando el cronometraje su media era de 70.25



Ilustración 35 Parámetros de inyección sin modificaciones de NG-008

Son parámetros de inyección antes de realizar la modificación de ellos, en esta modificación solamente se le modificaron los parámetros de inyección, los de cierre y apertura no se tocaron.



Ilustración 36 Parámetros modificados.

Como se puede ver se le modificaron varias cosas en el perfil de inyección y sostenimiento, primero el recorrido se le modifiko de 33mm a 38mm, también hubo una modificación en el tiempo de supervisión de 10s a 7s, en el perfil de inyección se modificaron las 3 etapas y los 3 parámetros que lleva sus velocidades pasaron de ser de 25 mm/s, 32 mm/s y 37 mm/s a tener 55 mm/s 45 mm/s y 30mm/s, sus presiones también fueron modificadas en las 3 etapas, estas estaban en 130 bares las 3 etapas y pasaron a ser 150 bares las 3, es decir que se aumentó su presión, en la distancia paso de tener 255 mm, 150 mm y 80 mm a tener 170 mm, 110 mm y 95 mm después tenemos que en su recorrido completo paso de 247.0 mm a 259 mm, en su perfil de sostenimiento se le modificaron igual sus parámetros y etapas en su presión tenía 59 bares y 58 bares a tener uno solo de 59 bares y en el tiempo se tenía de 10 s y 5 s a 15s, en este perfil se eliminó una etapa.

Fecha	Tpo.	Ciclo	Tpo. cicl. C s	Tpo. iny. C s	Cojin. masa mm	Máx. Pr. hidr. bar*	Tpo. plas. C s	Carr. plas C mm	Conm. Pr. hidr. C bar*	Conm. Rec. C mm	Ar. Máx. Pr. Masa bares
09.12.25 11:14:06		304	64,21	5,15	14,5	51,54	24,57	159,6	50,66	35,0	657
09.12.25 11:15:11		305	64,19	5,15	14,6	52,35	24,68	159,7	50,59	35,0	668
09.12.25 11:16:15		306	64,19	5,14	15,0	51,54	24,77	159,5	50,66	35,0	657
09.12.25 11:17:19		307	64,20	5,15	14,9	51,93	24,56	159,6	50,62	34,9	661

Ilustración 37 Tiempo ciclo final de NG-008

Este fue el tiempo ciclo al que se llegó con las modificaciones, se volvió a medir con un cronometro y su media era de 64.15 es decir que se redujeron 6 segundos.

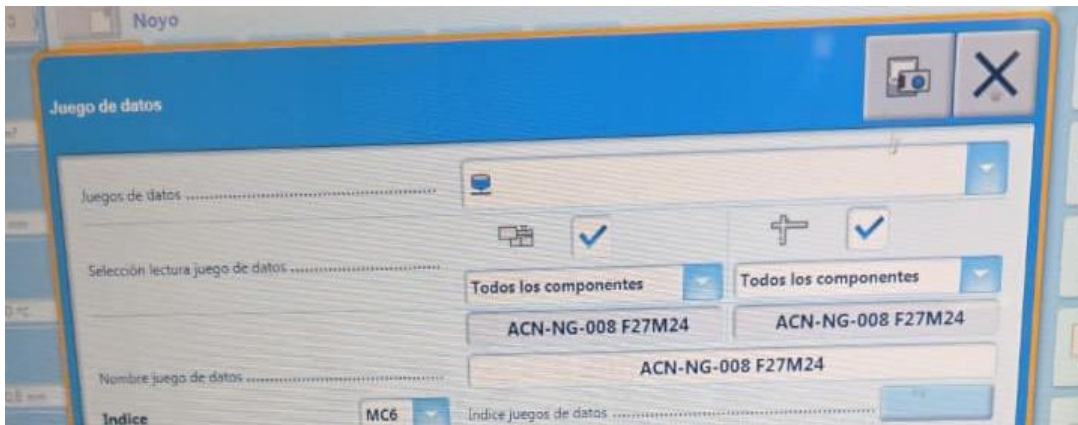


Ilustración 38 Modificación de nombre en programa NG-008

Se guardo el nombre como se estandarizo y planeo en este proceso para facilitar todo.

En este proceso se hizo lo mismo que en el primero y así todos los siguientes, todos llevaron el mismo proceso y misma verificación y aprobación por parte del departamento de calidad.

El siguiente fue el molde nombrado Q5NG-025 en la máquina de inyección 3200-3 se adjunta evidencia de cambios y ajustes de optimización:

Ciclos de valores reales											
Fecha	Tpo.	Ciclo	Tpo. cicl C	Tpo. iny. C	Cogn. masa min	Máx. Pr. hidr. bar"	Tpo. plas C	CieMo. Tiem C	AbrMo. Tiem C	Ar. Máx. PrMasa. bar"	Indice de viscosi.
09.12.25 15:33:11		505	85.79	5.99	15.1	88.42	15.92	5.42	5.42	1117	
09.12.25 15:34:36		506	85.80	5.99	15.0	88.10	16.05	5.42	5.44	1114	
Valor nominal		506	78.00	8.90	24.5	121.00	23.80	5.76	6.21	1450	0.00

Ilustración 39 Tiempo ciclo antes de modificar NG-025

Mismo proceso, se midieron tiempos con cronómetros y se obtuvo una media de 85.45 segundos

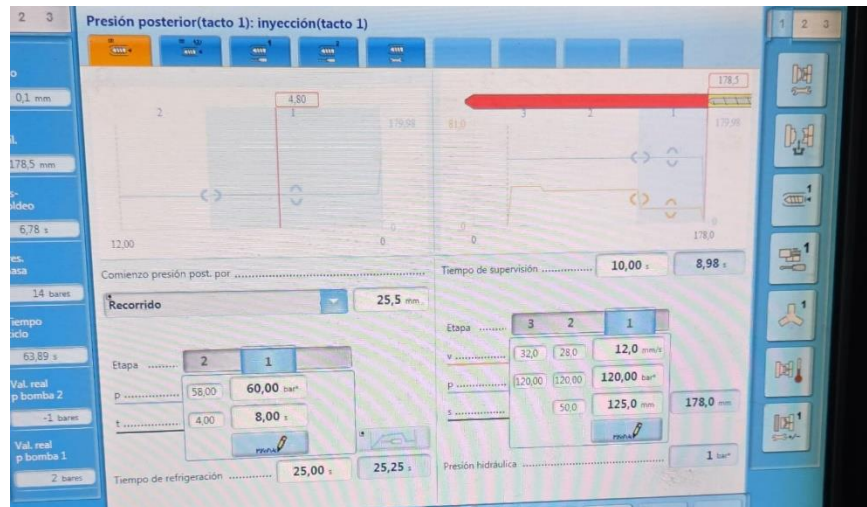


Ilustración 40 Perfil de inyección antes de modificar NG-025

Datos obtenidos antes de realizar modificaciones.

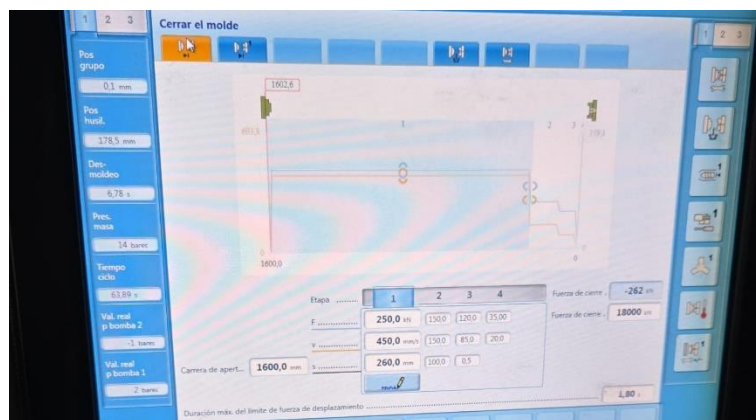


Ilustración41 Cierre de molde antes de ajuste

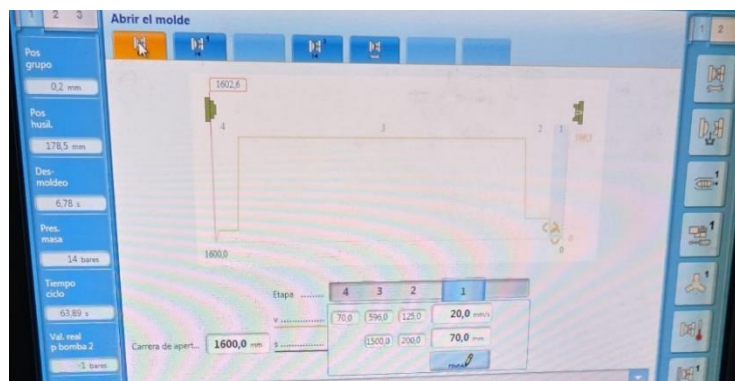


Ilustración42 Apertura de molde antes de ajuste

Aperturas y cierres de molde antes de ajustarse los parámetros del NG-025.

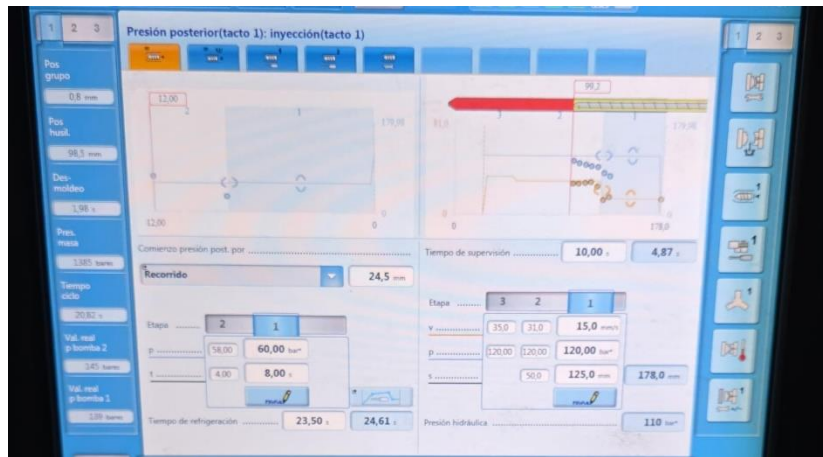


Ilustración 43 Parámetros de inyección modificados NG-025

En esta modificación, no se le cambiaron parámetros a la inyección, ni al sostenimiento, ninguna de las 3 etapas fue modificadas, ya que causaba problemas al ser modificadas en la pieza final, así que solo se redujo el tiempo de enfriamiento de 25 s a 23.50s, el recorrido se redujo de 25.5 mm a 24.5 mm.

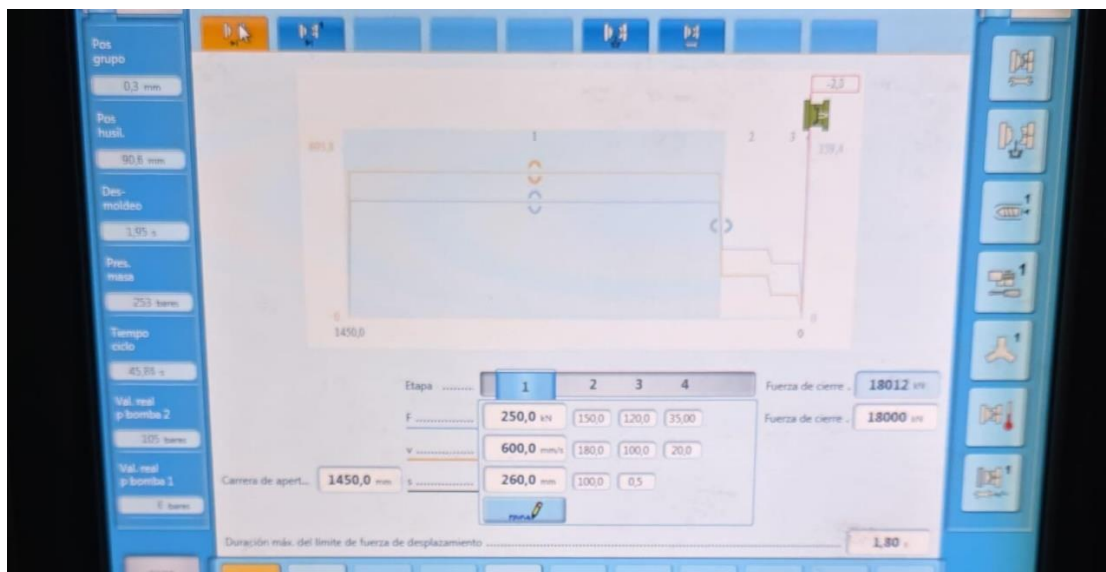


Ilustración 44 Parámetros de cierre ajustados NG-025

En esta parte solo se modificaron las etapas de velocidades ya que esta antes contaba con las de 400 mm/s, 150 mm/s, 85 mm/s y 20 mm/s y con las modificaciones paso a tener 600

mm/s, 180mm/s, 100 mm/s y 20 mm/s es decir que se aumentó la velocidad a la que avanzaba y cerraba la prensa.

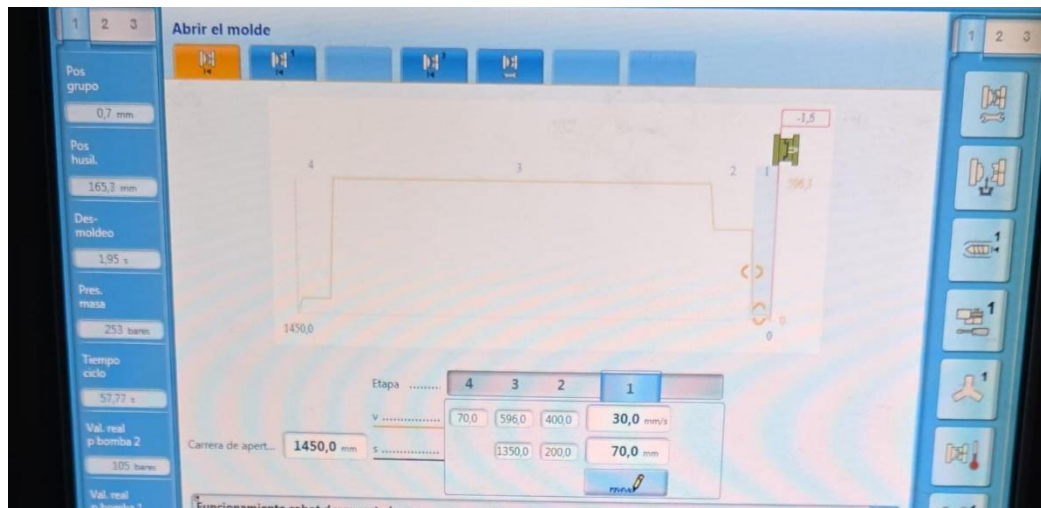


Ilustración 45 Apertura de molde modificada de NG-025

Al igual que en el proceso de cierre a este igual se le modifico su velocidad, paso de e tener en sus etapas 20 mm/s, 125 mm/s, 596 mm/s y 70 mm/s a tener con la modificación 30 mm/s, 400 mm/s, 596 mm/s y 70 mm/s, además la distancia en la 3ra fase fue reducida a 1350 mm cuando antes tenía 1500 mm.

1,98 s	09.12.25 16:39:06	510	62,83	7,94	23,7	122,16	23,65	5,24	6,58	1543	
	09.12.25 16:40:09	511	72,69	8,22	23,9	122,27	26,56	5,21	7,31	1545	
Pres. masa	09.12.25 16:41:21	512	68,32	7,96	23,7	121,99	23,23	5,21	6,75	1542	
	09.12.25 16:42:30	513	69,11	7,99	23,8	122,06	22,00	5,20	6,70	1541	
14 bares	09.12.25 16:43:39	514									

Ilustración 46 Tiempos ciclos obtenidos de la optimización del NG-025

En esta parte se midieron tiempos con cronometraje y se obtuvo una media de 69.85 s en este proceso, mientras que el anterior era de 85.45 s, acá se pudo bajar un tiempo estimado de 15.6 s, además cabe aclarar que acá se le aumento al robot un 7% de velocidad, contaba con un 65% de velocidad y con el 7% se subió a 72% de velocidad, este proceso igual fue validado por el área de calidad y aprobado.

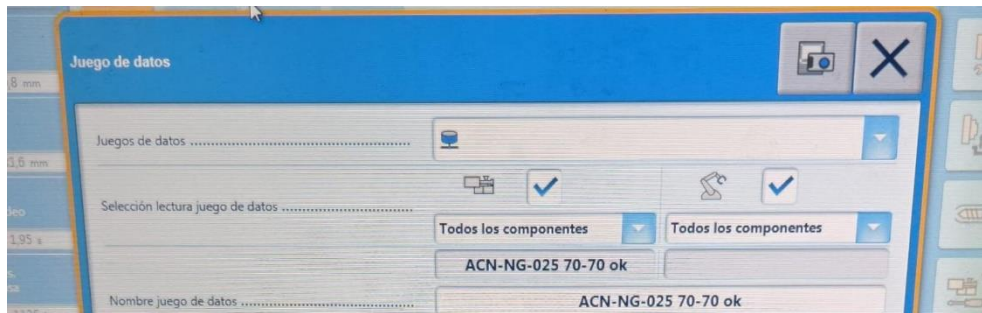


Ilustración 47 Modificación de nombre Ng-025

Se guardo el nombre del programa como se había mencionado para facilitar el proceso de cargar programas.

Después seguimos con el molde llamado como Q5NG-034 en la máquina de inyección nombrada como 1300-2 en la tabla de calidad nos mostraba el siguiente tiempo ciclo:

11.12.25 11:17:25	10726	77,46	5,78	20,5	93,47	16,10	184,7	24,00	73,45
11.12.25 11:18:43	10727	77,34	5,77	20,5	92,76	16,25	184,7	24,00	72,99
11.12.25 11:20:00	10728	77,31	5,77	20,4	92,23	16,16	184,7	24,00	72,74
11.12.25 11:21:17	10729	77,31	5,77	20,4	92,01	16,10	184,8	24,00	72,53

Ilustración 48 Tiempo ciclo manejado antes de modificación del NG-034

Con el mismo proceso de cronometraje se obtuvo que la media es de 77.20 segundos por pieza fabricada.

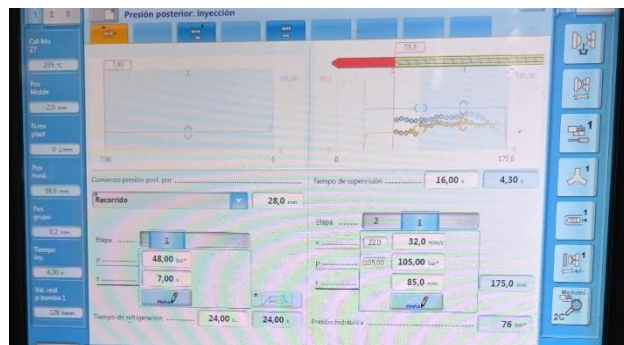


Ilustración 49 Parámetros antes de modificación del NG-034

Parámetros sin modificar, son con los que contaba ya el proceso.

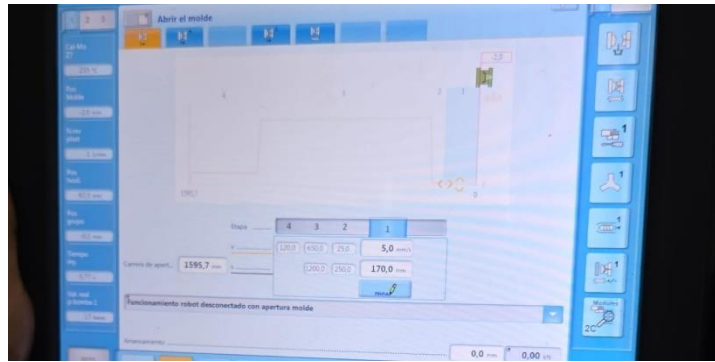


Ilustración 50 Datos de apertura sin modificar

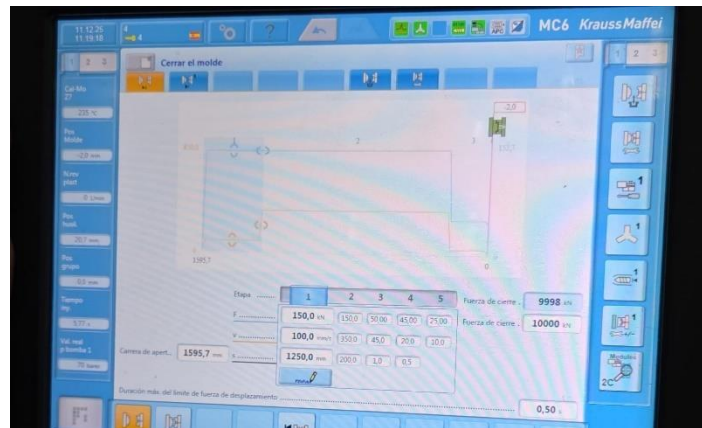


Ilustración 51 Datos de cierre de prensa sin modificar NG-034

Datos de apertura y cierre de molde sin realizar ninguna modificación del proceso.



Ilustración 52 Parámetros con proceso modificado de NG-034

A diferencia de los otros procesos en los cuales, si se modificaron los parámetros de inyección, en este no se pudo ya que afectaba la pieza saliendo en mal estado y con detalles

estéticos de calidad, se procedió a modificar parámetros en el apartado de cierre y apertura de prensa.

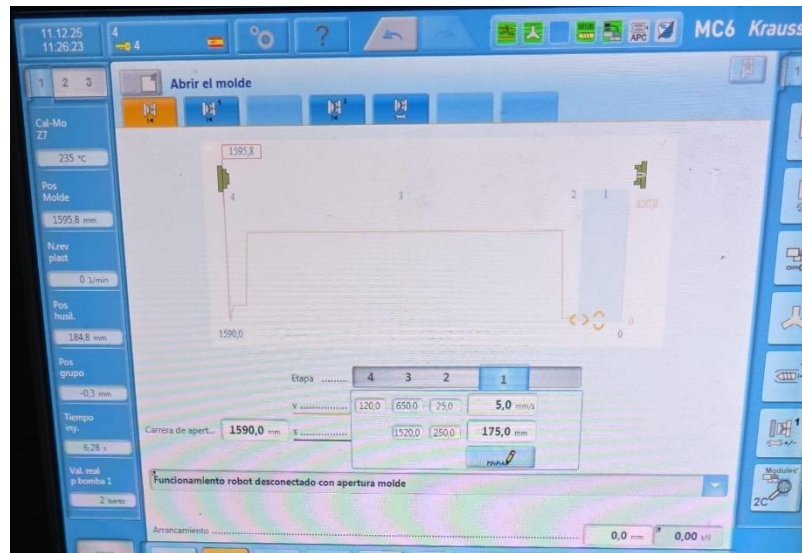


Ilustración 53 Datos de apertura modificados del NG-034

En este apartado si se realizaron modificaciones en distancia recorrida por etapas, en el anterior estaban teníamos los datos de 170 mm, 250 mm y 1200 mm después se modificaron a 175 mm, 250 mm y 1520 mm, se optimizo el desplazamiento de la apertura del molde, además de que también la carrera de apertura se modificó, esta tenía el valor de 4595,7 mm y se modificó a 1590,0 mm de recorrido, se redujo para optimizar la velocidad.

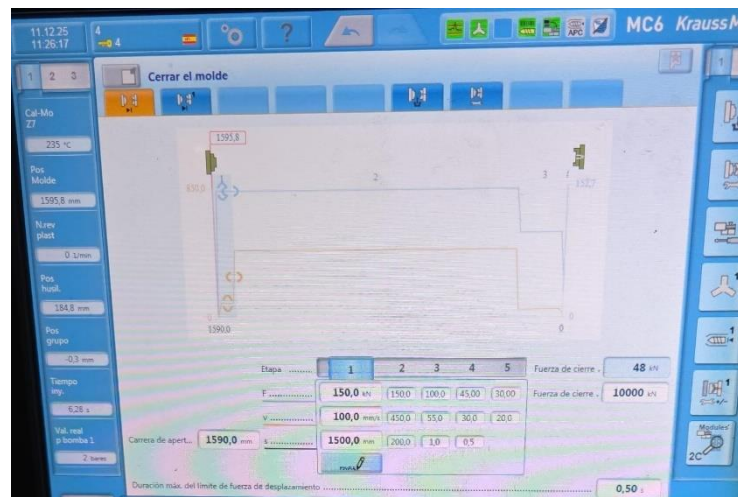


Ilustración 54 Datos de cierre de prensa modificados del NG-034

En la parte de cierre de la prensa se modificaron varios datos, iniciamos por la fuerza por etapas, estas eran de 150 KN, 150 KN, 50 KN, 45 KN y 25 KN después se modificaron a 150 KN, 150 KN, 45 KN Y 30 KN, es decir que se optimizaron algunas fuerzas por etapas.

Después las velocidades por etapa se modificaron de 100 mm/s, 350 mm/s, 45 mm/s, 20 mm/s y 10 mm/s y se cambiaron los valores a 100 mm/s, 450 mm/s, 55 mm/s, 30 mm/s y 20 mm/s, acá se optimizaron las velocidades de la prensa para que fuese más rápido.

También se modificaron los valores de distancia por etapas, las cuales eran de 1250 mm, 200 mm, 1,0 mm y 0,5 mm y pasaron a ser modificados como 1500 mm, 200 mm, 1,0 mm y 0,5 mm, es decir que se optimizo el recorrido que la prensa realizaba por etapa, además de estas modificaciones también se modificó la carrera de apertura de 1595,7 mm a 1590 mm, también buscando optimizar el recorrido.

1.12.25 11:24:17	10730	61,55	6,28	20,3	91,48	16,16	184,6	24,00	74,59
1.12.25 11:27:02	10731	60,93	5,77	20,4	95,78	15,97	184,7	24,00	74,59
1.12.25 11:28:04	10732	71,94	5,77	20,4	93,04	16,24	184,6	24,00	72,92
1.12.25 11:29:16	10733	71,95	5,77	20,2	91,80	16,35	184,7	24,00	71,68

Ilustración 55 Tiempo ciclo obtenido después de cambios en NG-034

Igual siguiendo los mismos pasos, se cronometro varias veces, ya que la maquina estaba muy inestable y se obtuvo una media de 65.84 segundos, a diferencia del que se tenía de 77.20 segundos, se obtuvo que se redujeron 11 segundos por pieza fabricada, además esto se logró por que el robot manejaba una velocidad de 77% y se le aumento un 5% logrando tener el 82% de velocidad en sus movimientos.

Después se le realizaron las modificaciones al molde nombrado como Q5NG-032 en la máquina de inyección 3300-0, normalmente las maquinas con mayor tonelaje es esta, ya que son 3300 toneladas las que tiene de fuerza y son maquinas con moteres y componentes más grandes.

2017	15.3	88.3	11-Dec-25
2018	15.3	95.3	11-Dec-25
2019	15.2	96.5	11-Dec-25
2020	15.2	90.8	11-Dec-25
		85.1	11-Dec-25

Ilustración 56 Tiempo ciclos sin modificaciones en NG-032

Esta máquina contaba con un tiempo ciclo elevado, esto ya estaba comentado con los ingenieros de proceso, estas máquinas al ser más grandes pueden hacer piezas de tamaños más grandes y por eso suelen ser los tiempos ciclos más elevados a diferencia de las que ya veníamos manejando, el tiempo ciclo en promedio que la maquina marcaba era de 96. 5 y con la toma de tiempos cronometrando y registrando todo nos dio un promedio de 93.5.

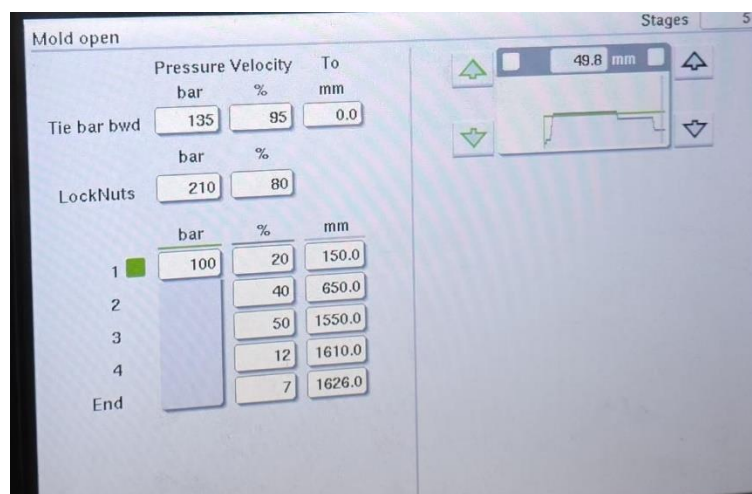
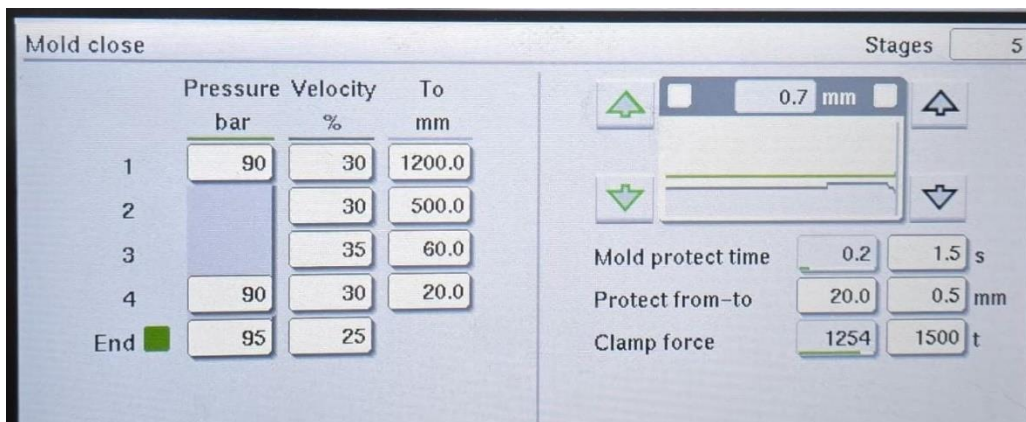


Ilustración 58 Datos de apertura de prensa sin modificar del NG-032

En este proceso solo se modificaron valores de apertura y cierre de molde, al intentar modificar valores de inyección se tenían muchos problemas con las piezas, demasiados detalles de calidad, así que se optó por modificar solo estos datos, además de la velocidad del robot.

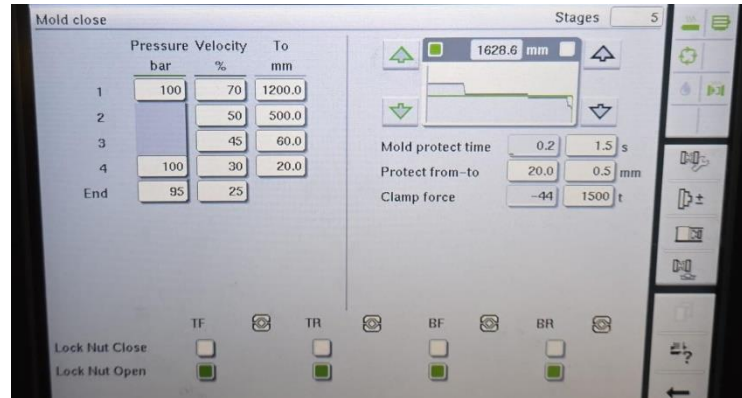


Ilustración 59 Datos modificados de cierre de prensa del NG-032

Como se puede observar en la ilustración 51 se modificó la presión de las etapas, antes se tenían valores en la presión de 90 bar, 90 bar y 95 bar después se modificaron a 100 bar, 100 bar y 95 bar, optimizando la presión que se ejercía para el cierre de la prensa.

Después la velocidad también se modificó por cada una de sus fases, antes se tenían valores de 30%, 30%, 35%, 30% y 25% y se modificaron a los valores de 70%, 50%, 45%, 30% y 25% esta máquina a diferencia de las otras maneja la velocidad en porcentaje y se aumentaron para que el proceso fuera más rápido.

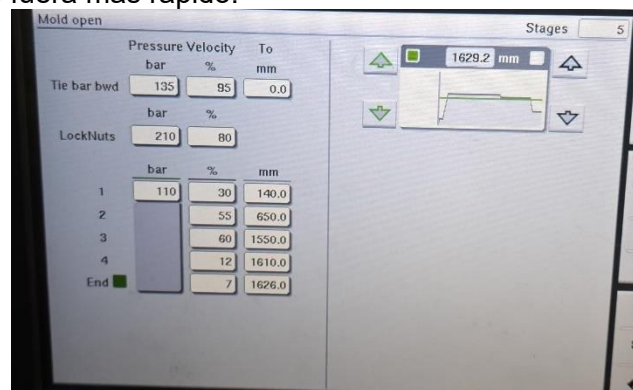
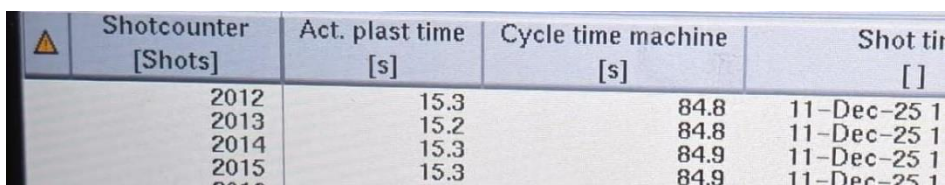


Ilustración 60 Datos modificados de apertura de prensa de Ng-032

En la apertura de la prensa se modificó igual la presión que esta tenía y paso de tener 100 bar a tener con la modificación 110 bar, lo que es equivalente a más presión con la cual hace abertura la prensa.

En la velocidad también se hicieron modificaciones por fase, antes contaba con los valores de 20%, 40%, 50%, 12% y 7% y estos valores se modificaron de la siguiente manera 30%, 55%, 60%, 12% y 7%, recordando que en esta máquina lo manejamos con el porcentaje.

En la distancia solo se le modifiko la primera fase ya que el ella marcaba 150 mm y fue modificada a 140 mm, es decir que se le redujo un poco al recorrido que hacía.



Shotcounter [Shots]	Act. plast time [s]	Cycle time machine [s]	Shot tir []
2012	15.3	84.8	11-Dec-25 1
2013	15.2	84.8	11-Dec-25 1
2014	15.3	84.9	11-Dec-25 1
2015	15.3	84.9	11-Dec-25 1

Ilustración 61 Tiempo obtenido con los cambios del NG-032

Igual con el mismo proceso de los demás se hizo un cronometraje y se sacó el promedio de ellos y se mantenía en 84.21 segundos por pieza y el primero que teníamos antes de las modificaciones era de 93.5 segundos por pieza, es decir que se logró reducir 9.29 segundos aproximadamente, se menciona que el robot tenía un 69% de velocidad y solo se logró subir otro 4% llegando así a los 75% en total de velocidad, si se subía más había problemas, no tomaba la pieza o la tiraba en el recorrido.

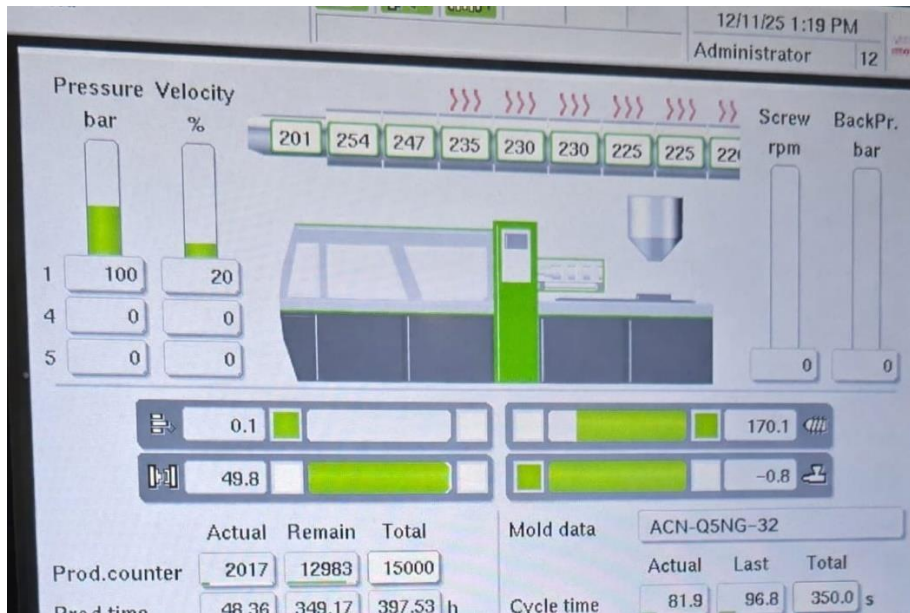


Ilustración 62 Modificación de nombre de programa guardado del NG-032

Así como con los otros procesos se llevó a cabo el guardar el programa modificado con la estandarización de los nombres ya mencionados para facilitar los procesos.

3.5 Resultados del proceso.

Tabla de Tiempos Ciclos

Molde	Máquina	Tc Anterior (s)	Tc Actual (s)	Reducción (s)	Pzs/h Antes	Pzs/h Después
Q5NG-042	1150-3	69.54	64.25	5.29	51.78	56.03
Q5NG-008	1300-1	70.25	64.15	6.10	51.25	56.11
Q5NG-025	3200-3	85.45	69.85	15.60	42.13	51.55
Q5NG-034	1300-2	77.20	65.84	11.36	46.63	54.69
Q5NG-032	3300-0	93.50	84.21	9.29	38.50	42.74

Tabla 1 resultados de optimizaciones

Se realizó una tabla la cual contiene los datos de los moldes y máquinas a los cuales se les hicieron modificaciones, además tiene los tiempos ciclos que manejaban y los que tienen con

las modificaciones junto con las piezas que se obtenían antes por hora a los que se obtiene con los

cambios a continuación, una gráfica sobre estos datos:

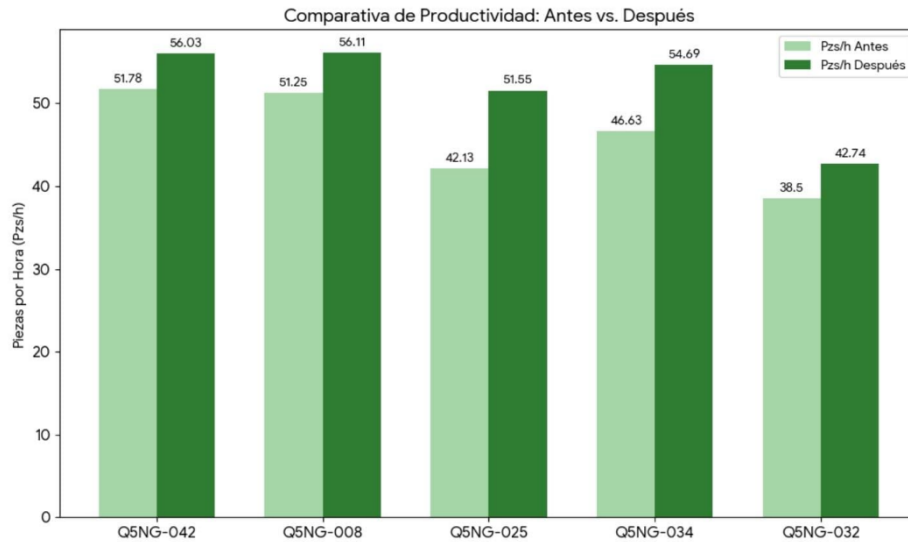


Ilustración 63 grafica de antes vs ahora

Como se ve en la gráfica se tiene un gran impacto sobre la diferencia de producción que había a la que se tiene ahorita con las modificaciones de este proceso.

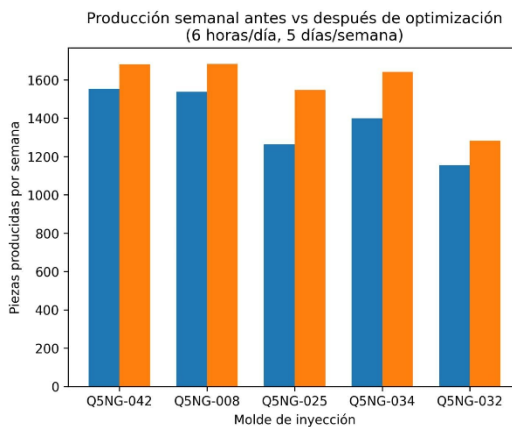


Ilustración 64 Grafica de resultados semanal

En la ilustración 65 se muestra la producción que se obtuvo y la diferencia entre después de la optimización, la naranja es la optimización y la azul el tiempo ciclo que se venia manejando, esto tomando en cuenta que estos moldes trabajan 6 horas por día y solo contando de lunes a viernes,

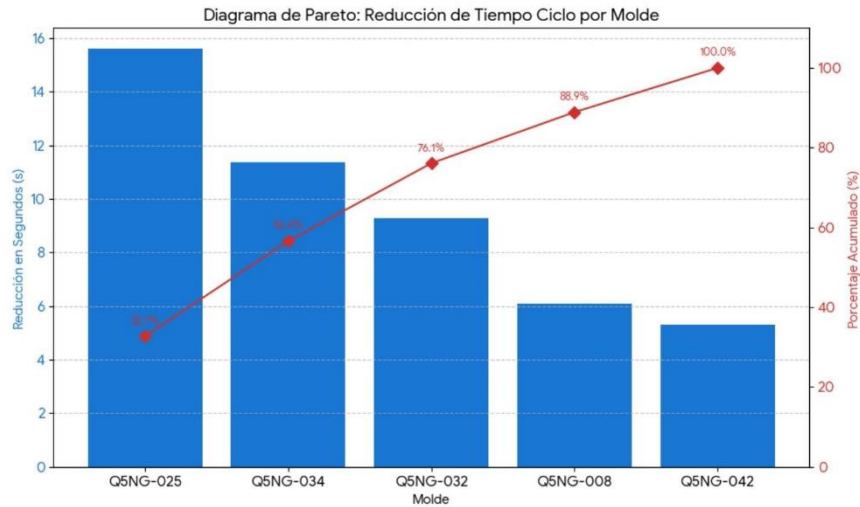


Ilustración 65 Diagrama de Pareto del proceso

Análisis del Diagrama de Pareto

Regla del 80/20: El gráfico muestra que los moldes Q5NG-025 y Q5NG-034 por sí solos representan más del 50% de la reducción total de tiempo lograda en este grupo de trabajo.

Impacto Estratégico: Optimizar el molde Q5NG-025 fue la decisión más acertada, ya que dio el mayor "golpe" de eficiencia (15.6 segundos de ahorro).

Justificación: Se priorizaron las intervenciones en los moldes con mayores tiempos ciclo, logrando que el 40% de los moldes (2 de 5) generaran la mayor parte del ahorro en tiempo de máquina.

Maquina	Molde	Tiempo ciclo anterior
3200-1	NG-037	100
2700-3	NG-030	95
3200-2	NG-033	95
1300-6	NG-011	93
3200-3	NG-025	91.5
1300-5	TAY-007	90
2700-2	NG-045	83
1150-3	TAY-003	80
550-4	NG-009	70
1150-2	NG-042	70
550-5	TAY-002	70
1300-1	NG-023	65
1300-4	NG-047	63
1300-3	NG-010	60
550-3	NG-015	60

Tabla 2 Planeación de optimizaciones

En la tabla 2 se muestra la planeación realizada para modificar los tiempos ciclos de otros moldes y más maquinas, esta se espera llevar poco a poco, ya que es un proceso tardado, estos tiempos ciclos se estuvieron tomando para facilitar el estar midiéndolos siempre.

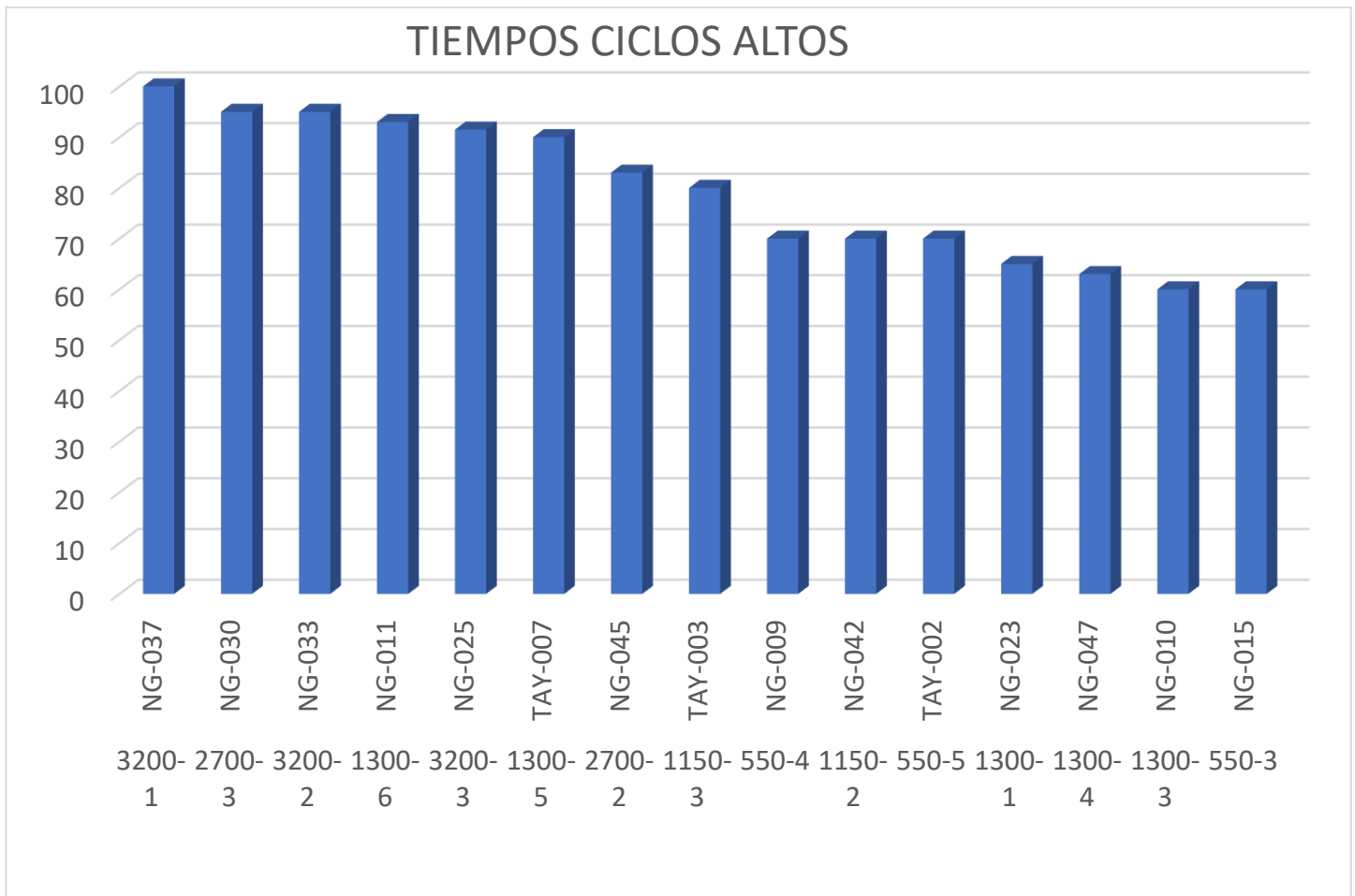


Ilustración 66 grafica de tiempos ciclos registrados como más altos

Se grafico para ver a cuáles máquinas y moldes es a los cuales se les dará mucho más enfoque y lo que deben tener prioridad para empezar a actuar.

Capítulo IV: Resultados y Conclusiones

4.1 Resultados

Los resultados obtenidos de este proyecto nombrado “Optimización de tiempos ciclos en máquinas de inyección con el tonelaje 550 a 3300 en el área de producción” fueron satisfactorias ya que las actividades realizadas demostraron que efectivamente hacía falta una optimización de los tiempos ciclos en las máquinas de inyección, además de que este proceso igual mejoro la estandarización de los nombres de los programas, los tiempos ciclos estaban elevados y provocaban que no se llegara a la meta de producción que se tenía o que se nombrara como producción baja, esto afectaba en todas las áreas ya que al ser un proceso ineficiente provocaba que se tuvieran atrasos de entrega para las empresas que se les fabrican piezas, entonces podemos decir que fue un éxito, se logró lo esperado que era producir más piezas por hora como se muestran en la ilustración 64 y 65.

Además de esto los formatos realizados eran necesarios para tener un control en el área de producción, mencionar que este proceso se seguirá realizando de la misma manera, esto con la finalidad de obtener una mayor eficiencia en la mayoría de los moldes de inyección y maquinas inyectoras, además de que ya está planificado a que moldes con máquinas es necesario reducir el tiempo ciclo, esto tomara un gran impacto y provocara que la empresa sea más eficiente en todas sus áreas obteniendo mejores ganancias para la empresa Motherson.

4.2 Conclusiones

El proyecto de optimización de tiempos de ciclo en máquinas de inyección de plástico con tonelajes de 550 a 3300 toneladas en el área de producción resultó exitoso al cumplir con los objetivos establecidos de reducción de tiempos sin comprometer la calidad del producto ni la estabilidad del proceso.

Como podemos ver en la tabla 1 e ilustración 64 la producción por hora se ha aumentado, además de que se ha aumentado la cantidad de piezas inyectadas que se tenían a la semana, esto mejorando y evitando cuellos de botella que hacían que la producción en el área de inyección fuera mas baja que ahora.

Mediante el análisis detallado de los tiempos de ciclo iniciales, la optimización de los parámetros de inyección y la mejora en los movimientos y secuencias de los robots fue posible reducir de manera significativa los tiempos muertos y las actividades que no agregaban valor. Estas acciones permitieron incrementar la productividad de las máquinas, reflejándose en un mayor número de piezas producidas por hora.

Asimismo, la estandarización de los nuevos parámetros y secuencias de operación contribuyó a una mayor repetibilidad del proceso, disminuyendo la variabilidad y facilitando su control por parte del personal operativo. El proyecto demostró que, a través de herramientas de mejora continua y un enfoque sistemático, es posible obtener mejoras sostenibles en equipos de diferentes capacidades de tonelaje.

Finalmente, los resultados obtenidos validan que la optimización de tiempos de ciclo es una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia del área de producción, generando beneficios directos en costos, cumplimiento de demanda y aprovechamiento de los recursos disponibles, sentando además una base sólida para futuras mejoras y replicabilidad del proyecto en otras líneas o procesos similares.

Capítulo V: Competencias desarrolladas y/o aplicadas

Manejo de software de planificación (Microsoft Project): Aplicación efectiva de herramientas digitales para la planificación, programación y seguimiento de actividades de tiempos ciclos, movimientos mediante diagrama de Gantt o cronogramas de programación.

Diagnóstico y Análisis de Productividad: Estudio de Tiempos y Movimientos: Realicé el levantamiento de los tiempos de ciclo actuales en las máquinas de inyección, identificando cuellos de botella y actividades que no agregan valor (MUDA) en la línea de producción.

Sincronización de Procesos: Planifiqué las actividades de cambio de moldes y ajustes de parámetros técnicos para reducir el setup y mejorar la cadencia de salida de piezas.

Ingeniería de Mantenimiento Aplicada a Inyección: Identifiqué, mediante despieces mecánicos y catálogos técnicos, los componentes críticos (resistencias, husillos, válvulas proporcionales) necesarios para asegurar que las máquinas operen a su máxima velocidad nominal, además Diseñé rutinas de inspección para los sistemas hidráulicos, eléctricos y de cierre de las inyectoras, garantizando que la configuración del equipo sea la óptima para reducir el tiempo de inyección.

Elaboración de Procedimientos Operativos: Desarrollé guías técnicas para la ejecución de paradas programadas y ajustes de proceso, estandarizando las maniobras de los técnicos para asegurar la repetibilidad de los ciclos optimizados.

Enlace Producción-Mantenimiento: Colaboré estrechamente con los jefes de turno y planeadores de producción para implementar los nuevos ciclos de trabajo, asegurando que las mejoras técnicas se tradujeran en un aumento real de unidades producidas por hora.

Capacitación a personal: Me encargue de capacitar a las personas para seguir con este proceso de optimización, tanto a técnicos, como a operadores del área de producción.

Aplicación de herramientas de calidad: Utilice herramientas de calidad, como diagrama de Ishikawa, paretos, entre otras herramientas con la finalidad de recopilar, medir y analizar los procesos y poder optimizarlos buscando sus causas y raíces.

Referencias

Atienza y Climent. (2024). INYECCIÓN DE PLÁSTICO: OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS.

<https://atienzaycliment.com/consejos/inyeccion-de-plastico-optimizacion-de-procesos/>

Battisti, L., Simeone, A., & Callegari, M. (2019). ADVANCED ROBOT PROGRAMMING STRATEGIES FOR INJECTION MOLDING AUTOMATION. *Procedia Manufacturing*, 38, 124–131. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.017>

Centro Español de Plásticos (CEP). (2023). EFICIENCIA PRODUCTIVA Y OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO DE CICLO EN LA INYECCIÓN. *CEP Inform*, (2).

Chen, Y., & Turng, L. S. (2016). INTEGRATION OF MOLDING MACHINES AND ROBOTIC SYSTEMS FOR FULLY SYNCHRONIZED MOLDING CELLS. *Journal of Manufacturing Processes*, 22, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2016.03.004>

Fu, Y., Liu, T., Geng, P., Song, Z., & Gao, D. (2020). ANALYSIS OF PRECISION AND COST CONTROL IN MODERN INJECTION MOLDING PROCESSES. *Engineering Research*, 45(2), 88–102.

Gestión De Compras. (2025). CÓMO REDUCIR EL CICLO DE INYECCIÓN EN MOLDEO DE PLÁSTICOS. *Gestión De Compras*.
<https://www.gestiondecompras.com/es/blog/como-reducir-el-ciclo-de-inyeccion-en-moldeo-de-plasticos/>

Hofmann, J., & Wenzel, S. (2021). CYCLE TIME OPTIMIZATION IN AUTOMATED CELLS USING INDUSTRIAL ROBOTS. *Optimization and Engineering*, 22(4), 2145–2168.
<https://doi.org/10.1007/s11081-021-09623-w>

Intime Plastic Machinery. (2025). 12 FABRICANTES DE MÁQUINAS DE MOLDEO POR

INYECCIÓN EN 2025. Metoree. <https://es.metoree.com/categories/injection-molding-machine/>

Michaeli, W., et al. (2012). INFLUENCE OF INJECTION MOLDING PARAMETERS ON CYCLE TIME OPTIMIZATION. *Kunststoffe International*, 102(6), 24–29.

Pantani, R., & Titomanlio, G. (2013). COOLING ANALYSIS AND THERMAL CONTROL IN INJECTION MOLDING PROCESSES. *Polymer Testing*, 32(6), 1120–1132.

<https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2013.06.012>

Plásticos de Lezo. (2025). DISEÑO DE MOLDES DE INYECCIÓN. Plásticos de Lezo.

<https://plasticoslezo.com/diccionario/disenio-de-moldes-de-inyeccion/>

Plastics Technology. (2020). FIELD REPORT ON ROBOT PROGRAMMING STANDARDIZATION FOR CYCLE TIME REDUCTION IN INJECTION MOLDING PLANTS. *Plastics Technology Magazine*.

Prototool. (2024). 2024: PROTOTIPO DE MOLDEO POR INYECCIÓN RÁPIDA PARA REDUCIR COSTOS. TEAM Rapid.

<https://www.teamrapidtooling.com/es/Prototipo-de-moldeo-porinyecci%C3%B3n-r%C3%A1pida-para-reducir-el-costo-de-un-128.html>

Rosato, D. V., & Rosato, M. G. (2011). *INJECTION MOLDING HANDBOOK* (3rd ed.). Springer.

Shrivastava, A. (2018). PREVALENCE AND FUTURE TRENDS OF INJECTION MOLDING IN THE AUTOMOTIVE SECTOR. *Manufacturing Insights*, 10(4), 55–67.

Vishnuvarthanan, R., Rajesh, S., & Rajeshkannan, A. (2015). CYCLE TIME REDUCTION IN

INJECTION MOLDING USING CAE SIMULATION. International Journal of Contemporary Research, 3(5), 210–218.

Yize Mould. (2025). EMPRESAS CHINAS DE MOLDEO POR INYECCIÓN: LÍDERES EN FABRICACIÓN DE PRECISIÓN. PLAS.CO.

<https://plas.co/es/empresas-chinas-de-moldeo-por-inyeccion-lideres-en-fabricacion-de-precision/>

Besterfield, D. H. (2018). CONTROL DE CALIDAD. Pearson Educación.

<https://www.pearson.com/es/en/higher-education/subject-catalogue/engineering/besterfield-control-de-calidad.html>

Cala, Y. C., Breffe, O. L., & Fernández, M. V. R. (2020). METODOLOGÍA DE CONFORMACIÓN DE PIEZAS POR DOBLADO Y TROQUELADO EN CHAPAS METÁLICAS. Holos, 8, 1–15.

<https://doi.org/10.15628/holos.2020.10283>

Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2020). ADMINISTRACIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD.

Cengage Learning.

<https://latam.cengage.com/soluciones/administracion-y-control-de-la-calidad-10a-ed/>

García, F. J., & Hernández, R. P. (2021). OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE INYECCIÓN MEDIANTE EL ANÁLISIS DE TIEMPO DE CICLO. Revista Iberoamericana de Ingeniería

Industrial, 12(3), 45–60. <https://doi.org/10.3245/riii.2021.1045>

Groover, M. P. (2020). FUNDAMENTALS OF MODERN MANUFACTURING: MATERIALS, PROCESSES, AND SYSTEMS. Wiley. <https://www.wiley.com/en-us/9781119475217>

Ishikawa, K. (1986). GUIDE TO QUALITY CONTROL. Asian Productivity Organization.

<https://www.apo-tokyo.org/publications/wp-content/uploads/sites/5/Guide-to-Quality-Control.pdf>

Kanawaty, G. (1996). INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DEL TRABAJO. Oficina Internacional del Trabajo (OIT).

https://www.ilo.org/global/publications/ilo-bookstore/order-online/books/WCMS_PUBL_9223071081_ES/lang--es/index.htm

Martínez, L. C., & Torres, G. M. (2022). APLICACIÓN DEL DIAGRAMA DE PARETO EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ: UN ENFOQUE EN LA EFICIENCIA OPERATIVA. *Journal of Quality and Manufacturing*, 15, 112–128. <https://doi.org/10.15628/jqm.2022.1052>

Montgomery, D. C. (2019). INTRODUCTION TO STATISTICAL QUALITY CONTROL. Editorial Wiley. <https://www.wiley.com/en-us/9781119390350>

Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2014). INGENIERÍA INDUSTRIAL: MÉTODOS, ESTÁNDARES Y DISEÑO DEL TRABAJO. McGraw-Hill. <https://www.mheducation.com.mx/9781456223847>

Sánchez, J. E. (2022). ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS PARA LA MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN UNA LÍNEA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma]. Repositorio Institucional.

<https://repositorio.ua.edu.mx/bitstream/handle/123456789/2345>

García, F. J., & Hernández, R. P. (2021). OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE INYECCIÓN MEDIANTE EL ANÁLISIS DE TIEMPO DE CICLO. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Industrial*, 12(3), 45–60. <https://doi.org/10.3245/rjii.2021.1045>

Martínez, L. C., & Torres, G. M. (2022). APLICACIÓN DEL DIAGRAMA DE PARETO EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ: UN ENFOQUE EN LA EFICIENCIA OPERATIVA. *Journal of Quality and Manufacturing*, 15, 112–128. <https://doi.org/10.15628/jqm.2022.1052>

Rodríguez, A. B. (2023). REDUCCIÓN DE DESPERDICIOS Y TIEMPOS MUERTOS MEDIANTE METODOLOGÍA 5S EN PLANTAS DE INYECCIÓN. *Ingeniería y Excelencia Operativa*, 7, 20–35. <https://doi.org/10.1016/ieo.2023.01.004>

Sánchez, J. E. (2022). ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS PARA LA MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN UNA LÍNEA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.ua.edu.mx/bitstream/handle/123456789/2345>

Vargas, M. A. (2021). IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS DE CALIDAD PARA LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE CICLO EN MOLDES DE ALTO TONELAJE [Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico]. Archivo Digital. https://it.tecnologico.edu/tesis/vargas_ma_2021.pdf

Anexos

Anexo 1: Requerimientos de Gestión Tecnológica y Vinculación

Procedimiento y documentos necesarios para la liberación de residencias profesionales.

Anexo 2: Requerimientos de División de Estudios Profesionales

Procedimiento y documentos necesarios para iniciar el proceso de titulación

Anexo 3: Requerimientos de Servicios Escolares

Procedimiento y documentos necesarios para trámite del título.