



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

*Grado en Ingeniería Mecánica*

# **Mejora del proceso productivo de moldeo por inyección del inserto de un alerón de automóvil**

## **Alumno**

Alberto Sanz Torromé

## **Tutores**

José Vicente Pastor Soriano

Francisco Vicente Juan Aguilar

Valencia, Curso académico 2018 – 2019

## Resumen

En el presente trabajo de final de grado se aborda la mejora de un proceso productivo en el área de inyección dentro de una empresa que desarrolla su actividad en el sector de la automoción, concretamente se estudiará el proceso de inyección y post inyección del inserto del alerón del Citroën C3 Aircross. El interés de este trabajo viene dado por el aumento de la competitividad en el sector por un mejor posicionamiento en el mercado. Como propósito principal se establece la reducción de costes de producción a partir de la disminución de tiempos de fabricación. Para llevarlo a cabo, se plantean los siguientes objetivos parciales: analizar los cuellos de botella que suponen una restricción en el proceso y plantear, seleccionar, implantar y evaluar económicamente la opción elegida a llevar a cabo.

Palabras clave: inyección de plástico, proceso productivo, mejora, tiempo de refrigeración, tiempo de ciclo, alerón.

## Abstract

In the present work of end of degree addresses the improvement of a productive process in the injection moulding area within a company that develops its activity in the automotive industry, specifically will be studied the injection and post injection process of the insert of the spoiler of the Citroën C3 Aircross. The interest of this work is given by the increase in competitiveness in the automotive industry due to better positioning in the market. The main purpose is to reduce production costs from the reduction of manufacturing times. To carry it out, the following partial objectives are proposed: analyse the bottlenecks that suppose a restriction in the process and to propose, select, implement and evaluate economically the chosen option to be implemented.

Key words: plastic injection, productive process, improvement, cooling time, cycle time, spoiler.

# ÍNDICE

Resumen.....	2
Abstract .....	2
1. OBJETO, ALCANCES Y ANTECEDENTES .....	5
1.1 OBJETO .....	5
1.2 ALCANCE.....	6
1.3 ANTECEDENTES .....	7
1.4 OBJETIVOS .....	8
2. LOS MATERIALES PLÁSTICOS EN EL SECTOR DE LA AUTOMOCIÓN .....	9
3. EL PROCESO DE INYECCIÓN.....	12
3.2 EL CICLO DE INYECCIÓN.....	13
3.3 LA INYECCIÓN DE TERMOPLÁSTICOS .....	16
3.4 VARIABLES EN EL PROCESO DE INYECCIÓN.....	16
3.4.1 TEMPERATURA DE INYECCIÓN .....	17
3.4.2 TEMPERATURA DEL MOLDE .....	17
3.4.3 PRESIÓN DE INYECCIÓN .....	18
3.4.4 PRESIÓN DE COMPACTACIÓN O MANTENIMIENTO .....	18
3.4.5 PRESIÓN DE RETROCESO O CONTRAPRESIÓN.....	19
3.4.6 TIEMPO DE INYECCIÓN INICIAL .....	19
3.4.7 TIEMPO DE MANTENIMIENTO .....	19
3.4.8 TIEMPO DE ENFRIAMIENTO .....	19
3.4.9 RECORRIDO DE DOSIFICACIÓN.....	20
3.5 PROCESOS DE POST INYECCIÓN .....	21
3.5.1 MODOS DE TRABAJO.....	21
3.5.2 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN.....	21
3.5.3 MONTAJE DE COMPONENTES.....	23
3.5.4 EMBALADO.....	25
4. ESTUDIO DE LAS POSIBLES ALTERNATIVAS .....	27
4.1 ESTUDIO DE MÉTODOS Y TIEMPOS.....	28
4.2 ANÁLISIS DEL PROCESO ACTUAL .....	28
4.3 EVALUACIÓN DE LAS POSIBILIDADES DE MEJORA .....	32
4.3.1 ALTERNATIVA NÚMERO 1 .....	32
4.3.2 ALTERNATIVA NÚMERO 2 .....	32
4.3.2.1 ESCENARIO 1 .....	33
4.3.2.2 ESCENARIO 2 .....	33
5. SOLUCIÓN ESCOGIDA / ANÁLISIS PARA LA REDUCCIÓN DEL TIEMPO DE CICLO .....	34

5.1	ESCENARIO TEÓRICO.....	34
5.1.1	LA REFRIGERACIÓN EN EL CICLO DE INYECCIÓN.....	36
5.1.2	EL TIEMPO DE REFRIGERACIÓN.....	37
5.1.3	EL FLUJO DE CALOR Y LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO.....	38
5.1.4	EL CIRCUITO REFRIGERANTE.....	40
5.1.5	EL PROCESO ACTUAL.....	41
5.2	ESCENARIO TEÓRICO.....	45
5.2.1	AJUSTE DEL TIEMPO DE CICLO.....	49
5.2.2	CAMBIO DE PROCESO DE POST INYECCIÓN.....	51
6.	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	55
7.	PRESUPUESTO.....	56
7.1	Amortizaciones del equipo empleado.....	56
7.2	Tasas horarias del personal de planta.....	57
7.3	Materiales fungibles.....	57
7.4	Costes indirectos.....	58
7.5	Coste total del Trabajo.....	58
8.	CONCLUSIONES.....	59
8.1	Líneas futuras de trabajo.....	60
	BIBLIOGRAFÍA.....	67

# 1. OBJETO, ALCANCES Y ANTECEDENTES

## 1.1 OBJETO

El presente trabajo de final de grado tiene como objeto la mejora de un proceso productivo de una pieza de inyección de plástico en el sector de la automoción. Se ha desarrollado en la empresa SRG Global Liria (central europea de la compañía multinacional).

La compañía SRG Global se encuentra presente en diferentes continentes, abarcando Norteamérica, Europa y Asia. Desarrollando diferentes actividades relacionadas con la inyección de plásticos para el sector de la automoción cuenta con:

- 13 instalaciones de fabricación y montaje
- 8 oficinas técnico-comerciales
- 3 centros de desarrollo avanzado
- 1 centro de innovación

La pieza objeto del estudio es el alerón trasero del Citroën C3 Aircross (Ilustración 1).



*Ilustración 1 - Citroën C3 Aircross 2018*

Concretamente en este trabajo se va a tratar el proceso de fabricación del inserto (Ilustración 2) que forma parte del alerón anteriormente nombrado, el cual tiene tres funciones principales:

- Aportar rigidez al alerón.
- Servir de soporte de los elementos que, junto con la piel pintada formarán el conjunto final.
- Ser el punto de anclaje a la carrocería del vehículo.

El proceso productivo desde el inicio hasta llegar a convertirse en producto final terminado consta de varios procesos claramente diferenciados:

- 1- Inyección de la piel, la cual posteriormente será sometida a un proceso de pintura.
- 2- Inyección del inserto principal que será preparado para el posterior ensamblado.
- 3- Inyección de dos embellecedores laterales.
- 4- Ensamblado de los tres productos anteriores que se convertirán en un producto terminado listo para enviar al cliente.



*Ilustración 2 - Inserto sin componentes del alerón*

El proyecto en producción de la pieza considerada en este trabajo, con un volumen anual en ventas ofertado en 110.000 coches, lo sitúan entre los proyectos de mayor volumen que actualmente se encuentran en producción. En el segundo año de producción de los 5 que durará el proyecto, una ligera reducción en los costes de fabricación por pieza puede resultar en un ahorro significativo al final de la vida del proyecto.

## 1.2 ALCANCE

Como punto de partida nos encontramos en una empresa que provee de piezas plásticas a la mayoría de las marcas del sector de la automoción, con los procesos de producción actuales a los que es sometida la pieza.

Para llevar a cabo el presente trabajo se desarrolla mediante la observación y el análisis del proceso de producción actual, comenzando por el estudio del proceso de inyección, un estudio de métodos y tiempos que junto con un estudio de la refrigeración entre molde y máquina, nos permitirá definir un nuevo proceso para el inserto del alerón en la máquina asignada para su fabricación (Ilustración 3).



*Ilustración 3 - Inyectora Engel 19204 de 2300 Toneladas*

Dentro del trabajo se estudiarán los puntos que suponen una restricción en el proceso, planteando posibles soluciones para alcanzar el objetivo establecido e implementando finalmente la opción con mayor factibilidad llevando a cabo el estudio económico de la implantación en fábrica de las modificaciones del proceso productivo.

Queda fuera del ámbito de este trabajo la verificación de cumplimiento de los estándares definidos de calidad para la pieza en producción.

### 1.3 ANTECEDENTES

En un sector como el de la automoción, el posicionamiento en el mercado lo es todo. El cambio en el mercado que ha venido desarrollándose a lo largo de las últimas décadas debido al alto desarrollo tecnológico ha derivado en una evolución de las cualidades y calidades de los productos fabricados. Esta evolución económica ha aumentado la competencia por tener un mejor posicionamiento en el mercado creando así una necesidad de mejora continua para con ella mejorar la oferta de proyectos a un menor coste que ayuden a mantener la facturación.

Todo diseño de molde lleva consigo un estudio que ayuda a diseñar los conductos de refrigeración y con ello determinar las necesidades que se tendrán durante la producción del proyecto. A pesar de los avances realizados en el diseño de moldes

mediante programas computacionales, continúa existiendo una brecha entre el diseño y el funcionamiento en producción.

A pesar del ahorro en costes de fabricación y la mejora en la calidad de las piezas que puede suponer una mejora en la refrigeración de los moldes, continúa siendo un tema que se deja de lado una vez los moldes se encuentran en producción.

Los datos disponibles han sido obtenidos a partir de desarrollos empíricos en estudios de pérdidas de carga llevados a cabo por ingenieros de planta. Gracias a los cuales pueden ser obtenidas aproximaciones de los caudales reales que pueden llegar a circular por los moldes y compararlos con los reales obtenidos para de esta manera localizar posibles limitantes del proceso que permitan establecer diferentes soluciones.

## 1.4 OBJETIVOS

Se establece como objetivo global de este Trabajo de Fin de Grado la mejora del proceso productivo mediante inyección de plástico de la pieza PS017.2A00.XX00 del alerón del vehículo Citroën C3 Aircross en términos de reducción de tiempos de fabricación y costes de producción.

Para poder llevar a cabo satisfactoriamente el objetivo último de este trabajo es necesario plantearse objetivos parciales que deben alcanzarse para la consecución del objetivo general. Los objetivos parciales son los siguientes:

- Analizar los cuellos de botella dentro del proceso productivo de fabricación en el área de inyección de plásticos que suponen una limitación para la mejora del proceso.
- Plantear posibles soluciones que puedan suponer una mejora para la consecución del objetivo global y evaluarlas posteriormente en términos de viabilidad de producción.
- Implementar la solución elegida de las diferentes alternativas planteadas a llevar a cabo.
- Analizar la solución elegida una vez implantada validando en términos económicos la consecución del Trabajo de Final de Grado.

## 2. LOS MATERIALES PLÁSTICOS EN EL SECTOR DE LA AUTOMOCIÓN

Al estudiar las diferentes categorías de materiales que forman parte de un vehículo hoy en día podríamos ver que los plásticos están entre los tres primeros en la lista de materiales más utilizados para la fabricación de automóviles, por detrás de los materiales férricos y en la misma medida que las aleaciones ligeras (dependiendo del modelo de vehículo).

Los materiales plásticos (polímeros) han ido evolucionando con el paso del tiempo gracias a la mejora tanto en la composición, creando polímeros de alto rendimiento, como en la fabricación mejorando las técnicas de moldeo posibilitando así la creación de formas más complejas permitiendo reemplazar partes del vehículo que hasta la fecha eran obtenidas mediante la utilización de otros materiales.

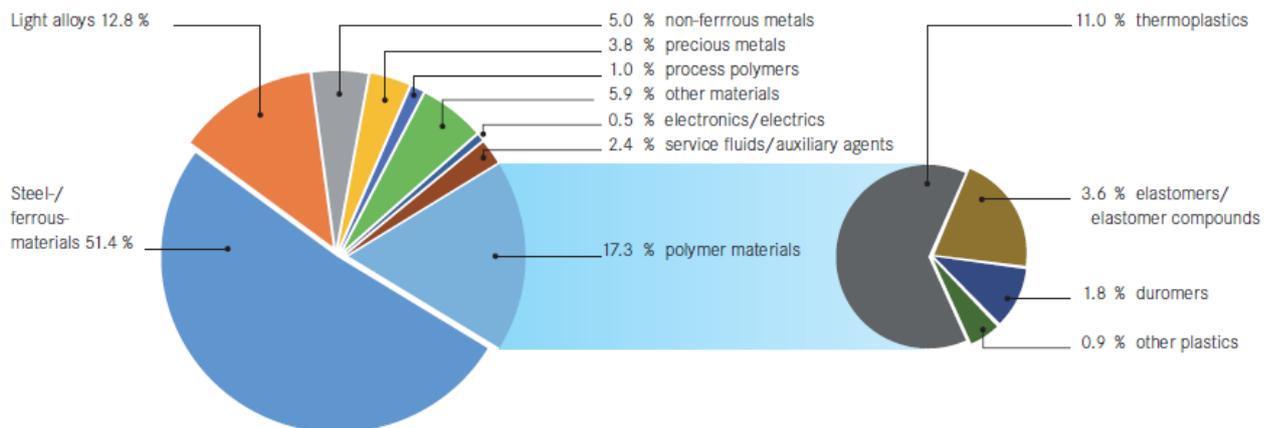


Ilustración 4 - Desglose en porcentaje de los diferentes materiales utilizados en la fabricación de un Mercedes-Benz clase B

Los polímeros han revolucionado el rendimiento, la seguridad, la construcción y la funcionalidad de los coches. Los componentes hechos a partir de plástico son resistentes a la corrosión, ofrecen flexibilidad y una gran capacidad para absorber energía en caso de impacto como seguridad añadida. Son muy buenos en el aislamiento térmico, reducen el sonido y permiten una utilización óptima del espacio [\[13\]](#).

Entre las ventajas que aportan los materiales plásticos en la fabricación de vehículos, cabe destacar:

- Reducción en los costes de fabricación
- Reducción en el consumo de combustible al reducir el peso total del vehículo. Cada 10% de reducción en el peso total del vehículo supone un ahorro de combustible de entre el 5 y el 7%.

- Aumento de la seguridad de los coches al tener entre 4 y 5 veces más capacidad de absorción de energía en caso de impacto.
- Mejora en el diseño de los vehículos aumentando la flexibilidad a la hora de incorporar componentes abriéndose así a la creatividad y la innovación.
- Aumento de la vida útil del vehículo minimizando los efectos de la corrosión.
- Aumento en el porcentaje de reciclabilidad de los vehículos. Mayor cantidad de productos pueden ser transformados de nuevo en materia prima para su reutilización.

Concretamente en el material plástico utilizado en el presente proyecto se trata de un ASA, concretamente el STAREX WX9310UV. El ASA es un termoplástico amorfo constituido por acrilonitrilo, estireno y acrilato el cual se fabrica al introducir el acrilato durante la reacción de copolimerización entre el estireno y el acrilonitrilo [16]. Se trata de un material de gran dureza y rigidez que les aportan una gran resistencia a los impactos, una resistencia química muy buena y una gran estabilidad térmica, sobresaliente resistencia a los factores climáticos y al envejecimiento, con un alto brillo en el color como acabado una vez inyectado. Fue introducido por BASF alrededor del año 1970 como Luran S. La intención era crear un material parecido al ABS (acrilonitrilo, butadieno, estireno) pero con mejor resistencia a los elementos climáticos. Por esta razón, el acrilonitrilo estireno acrilato se ha venido utilizando en gran medida en el sector de la automoción, al igual que en otras aplicaciones a la intemperie.

A pesar de las ventajas nombradas anteriormente del ASA frente al ABS u otros termoplásticos presentes en el mercado, también presenta una serie de desventajas a tener en cuenta:

- El ASA, que tiene una gran compatibilidad para mezclarse con polivinilos, policarbonatos y con ABS, al fundirse con otros termoplásticos tales como poliestirenos, poliamidas y poliolefinas da como producto terminado piezas con poca fuerza.
- Sufre químicamente en gran medida si es atacado por ácidos concentrados, hidrocarburos aromáticos y clorados, ésteres, éteres y cetonas.
- Si el ASA es pasado de su temperatura máxima de fundición hasta llegar a quemarse, libera un humo tóxico.

El ASA destaca entre otros materiales no sólo por sus características físicas sino también por las propiedades que posee que le otorgan una ventaja competitiva con respecto al resto de material que podrían ser utilizados. Las principales propiedades a tener en cuenta vienen detalladas en la siguiente Tabla 1:

Tabla 1 - Propiedades del ASA Starex WX9310 UV

Propiedades del ASA	Unidades	Valores
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	1,07
Dureza de la superficie		RR105
Resistencia a la tracción	Mpa	35
Módulo de flexión	Gpa	2,5
Impacto de Izod	KJ/m	0,1
Expansión lineal	°Cx10 <sup>-5</sup>	10
Alargamiento de rotura	%	10
Tensión de Rendimiento	%	3,3
Máxima temperatura de funcionamiento	°C	80 - 90
Absorción de Agua	%	0,5
Índice de oxígeno	%	19
Inflamabilidad UL94		HB
Rigidez dieléctrica	MV/m	22
Factor de disipación	1KHz	0,025
Constante dieléctrica	1KHz	3,2
Contracción	%	0,4 - 0,7
Tiempo de secado	Horas	2
Temperatura de secado	°C	80 - 90
Humedad máxima recomendada	%	0,038 - 0,1
Rango de temperatura de fusión/ Temperatura del cilindro de inyección	°C	200 - 250
Rango de temperatura recomendada de molde	°C	50 - 85
Presión de inyección	Kg/ cm <sup>2</sup>	800 - 1800
Contrapresión	MPa	5 - 10
Temperatura de la boquilla de inyección	°C	210 - 245
Velocidad del husillo	rpm	45 - 100

### 3. EL PROCESO DE INYECCIÓN

El proceso de inyección en moldes es uno de los principales métodos de producción utilizado hoy en día debido a que permite transformar gran variedad de plásticos y elastómeros en formas de prácticamente cualquier complejidad que deben ser producidas en cantidades medianamente altas con el mismo diseño. Existiendo de esta manera dos principales restricciones:

- El espesor de la pared de la pieza no puede superar unos escasos milímetros.
- La forma de la pieza tiene que permitir el desmoldeo.

La materia prima, normalmente en forma de gránulos, es fundida mediante la aplicación de calor en la unidad de inyección. En la Ilustración 5 se pueden diferenciar las partes principales que componen una máquina de inyección [2]:

- I. La unidad de inyección formada por la tolva de alimentación mediante la cual se provee de material a la máquina, el cilindro de calefacción donde el material es fundido mediante la aplicación de calor y la unidad de avance que genera el movimiento de avance y retroceso del tornillo de extrusión (husillo) para introducir el material dentro del molde.
- II. La unidad de cierre compuesta por dos partes, una móvil y otra fija, las cuales sirven de soporte para el molde y realizan los movimientos de apertura y cierre que mantendrá sellada la cámara durante la inyección.
- III. El sistema eléctrico que darán energía y control durante los procesos de que realice la máquina.

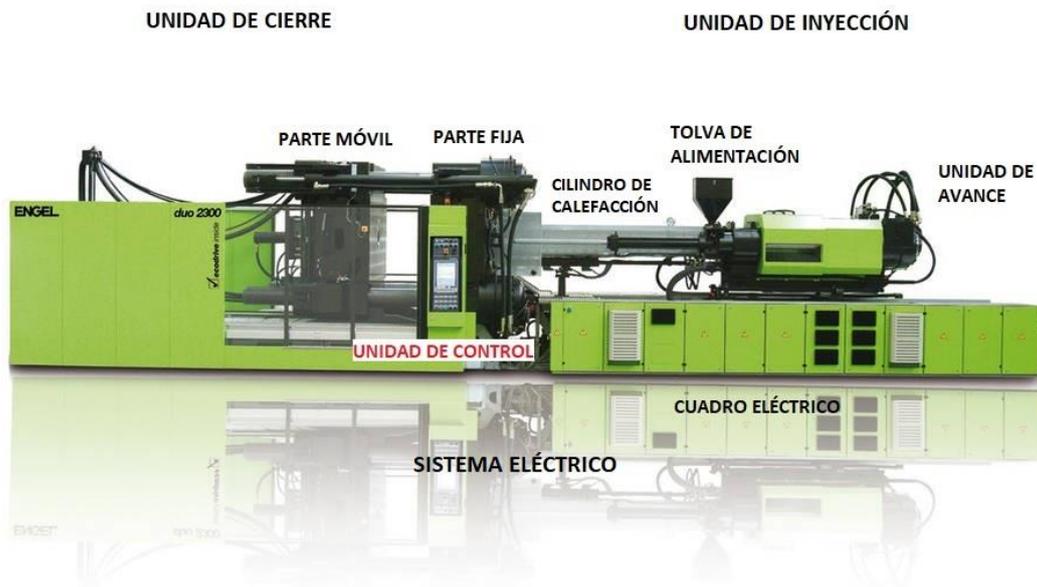


Ilustración 5 - Inyectora Engel 2300 Tn

Una vez el material se ha fundido a una temperatura determinada, la misma unidad de inyección hace fluir el termoplástico hacia el interior de la/s cavidades del molde aplicando una velocidad y presión preestablecidas con anterioridad. El plástico comienza a solidificar mientras intercambia calor a través del molde hasta alcanzar la temperatura de extracción que permite extraer la pieza.

Pese a que la primera patente de una inyectora de plástico está registrada en 1872 a nombre de John Wesley Hyatt, quien, mediante un pistón, un molde y derivados de la celulosa era capaz de producir piezas de forma rudimentaria, no fue hasta 1928 cuando la compañía alemana Cellon-Werk desarrolló la primera máquina de inyección moderna. Pero es en 1946 cuando James Watson Hendry crea la primera máquina de inyección de plástico con husillo, la cual permitía tener un mayor control de la velocidad y calidad del producto terminado, además de mezclar materiales vírgenes con materiales de color o reciclados [8].

Dentro de las ventajas que tiene la utilización de este método de producción destacan:

- ✓ Gran capacidad para reproducir piezas
- ✓ Gran capacidad de producción con bajo coste y alto rendimiento
- ✓ Posibilidad de fabricar piezas geoméricamente complejas con tolerancias muy estrictas
- ✓ Producción automática controlada
- ✓ Transformación directa de materia prima a producto terminado
- ✓ Baja necesidad de retrabajar la pieza una vez extraída del molde

## 3.2 EL CICLO DE INYECCIÓN

Las piezas plásticas son producidas en ciclos de manera discontinua. El ciclo de inyección se produce en 5 etapas que siguen un orden determinado:

- a. Etapa de cierre: El cierre del molde se produce en tres fases, la primera con un avance a alta velocidad y baja presión, una segunda fase en la cual se disminuye la velocidad para un cierre suave que evite dañar el molde y la máquina y por último una tercera fase en la que la unidad de cierre aplica una alta presión hasta alcanzar la fuerza de cierre requerida. Mientras el molde se cierra en vacío (Ilustración 6) el material necesario para la inyección se va plastificando (calentando) en el cilindro de la unidad de inyección. Mediante la aplicación de calor y la fricción que se produce entre el material y las paredes del cilindro provocada por la rotación del husillo al forzar el paso del material hacia la parte delantera.

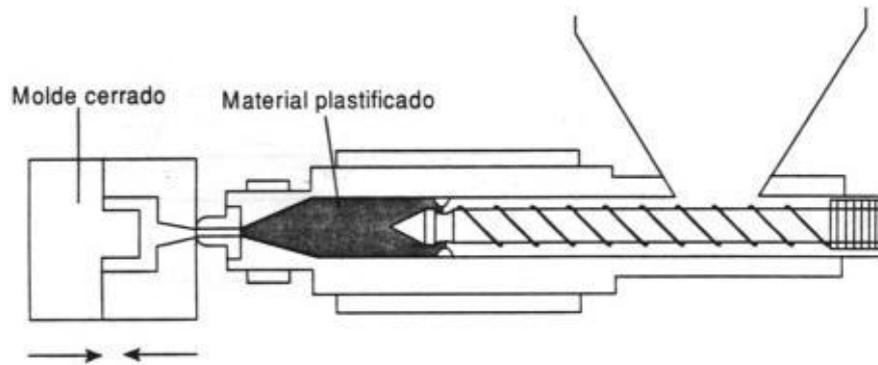


Ilustración 6 - Etapa de cierre [14]

- b. Etapa de inyección: con el material plastificado en la parte anterior del cilindro de calefacción, el tornillo helicoidal (husillo) avanza de manera axial hacia adelante realizando la inyección forzando al material a pasar a través de la boquilla y los canales del molde llenando así las cavidades de este. La inyección se realiza con una presión y una velocidad de avance previamente determinadas.

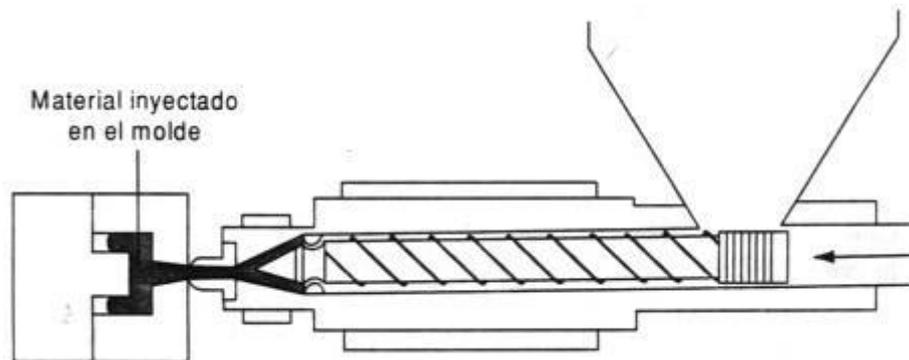


Ilustración 7 - Etapa de inyección [14]

- c. Etapa de mantenimiento: Una vez terminada la inyección, la presión en la entrada del molde se mantiene hasta que el material de los canales de entrada se solidifica, contrarrestando así la contracción de la pieza al enfriarse. Normalmente la presión de mantenimiento es menor que la de inyección.

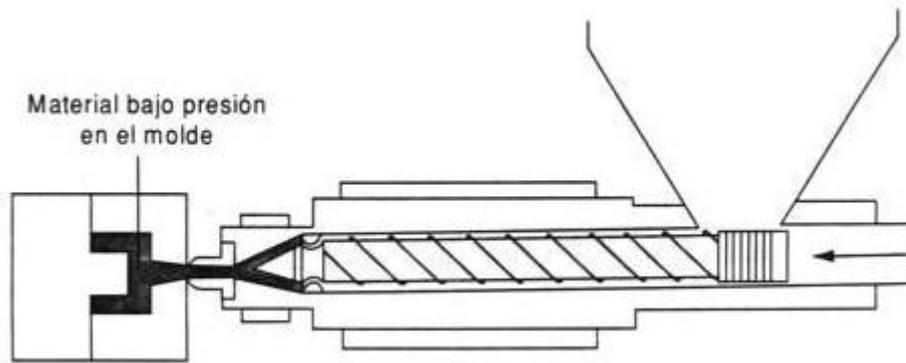


Ilustración 8 - Etapa de mantenimiento [14]

- d. Etapa de enfriamiento y retroceso de la unidad de inyección: a pesar de que se toma el tiempo de enfriamiento desde este punto, el proceso de enfriamiento comienza tan pronto como el polímero entra en la cavidad y toca las paredes del molde. Al solidificar la entrada a la cavidad del molde el husillo retrocede combinando un movimiento axial junto con uno de rotación plastificando así el material para la siguiente inyección. La plastificación en el husillo se produce simultáneamente con la fase de enfriamiento y la extracción de la pieza en el molde.

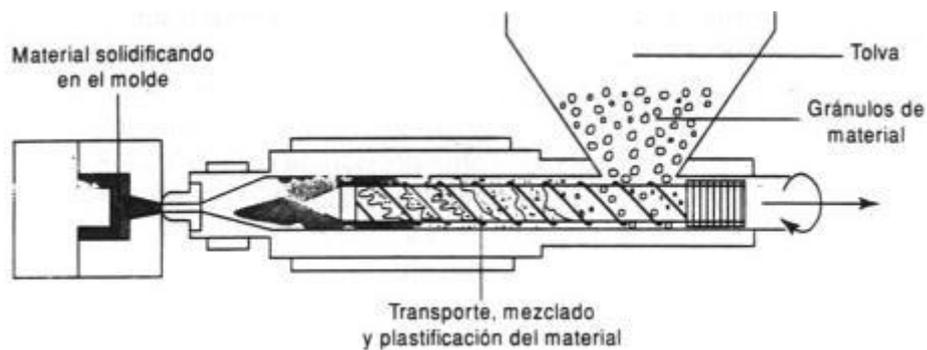


Ilustración 9 - Etapa de mantenimiento [14]

- e. Etapa de apertura y extracción: una vez se ha terminado el tiempo de enfriamiento, la parte móvil del molde se abre dando paso al proceso de extracción. Una terminada la extracción, la máquina vuelve a cerrar el molde comenzando de nuevo con el ciclo de inyección.

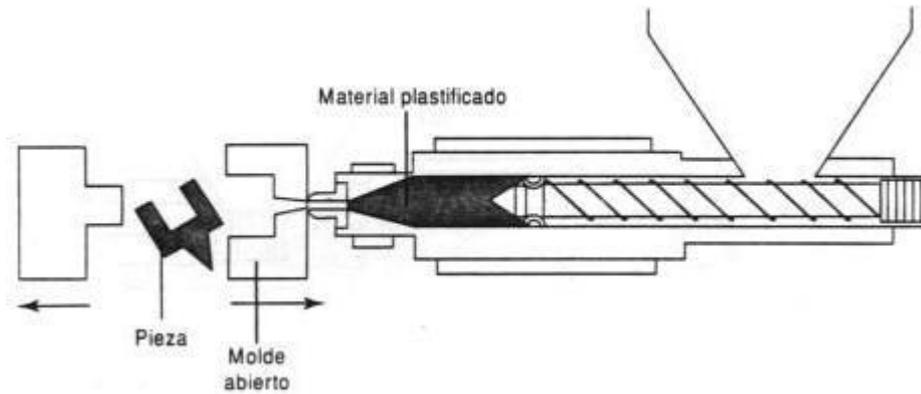


Ilustración 10 - Etapa de apertura y extracción [14]

### 3.3 LA INYECCIÓN DE TERMOPLÁSTICOS

Cuando se calienta un termoplástico hasta alcanzar su temperatura de plastificación, experimenta un cambio de estado que lo vuelve blando y le permite fluir. Cuando el termoplástico se enfría vuelve al estado sólido. Esta es la razón por la que las unidades de inyección son cilindros que trabajan a altas temperaturas mientras que los moldes trabajan con sistemas de refrigeración para mantener las temperaturas bajas. Normalmente la diferencia de temperatura entre el molde y la unidad de inyección se sitúa por encima de los 100 °C. Los termoplásticos desarrollados para inyección en moldes cuentan con puntos de viscosidad bajos que permite obtener tiempos cortos de inyección.

Un problema que puede derivar de la viscosidad del material o de la sobre presión de inyección es la formación de rebabas en las piezas, lo que hará que sea necesario un retrabajo de las piezas inyectadas para eliminarlas. Para evitar este problema es necesario que todas las juntas y las líneas de partición del molde queden completamente selladas cuando se realiza el cierre de manera que el termoplástico durante la inyección sea incapaz de filtrarse por las juntas y solidificarse. Todas las juntas deben de permanecer más pequeñas que 0.03 mm incluso durante la inyección a máxima presión hasta que el material haya solidificado.

### 3.4 VARIABLES EN EL PROCESO DE INYECCIÓN

Dentro del proceso de inyección existen una serie de parámetros variables que intervienen de forma directa o indirecta. Los parámetros que intervienen de forma directa son registrados en cada inyección de manera completa en la memoria de la máquina o mediante formatos previamente establecidos por el técnico de procesos de inyección.

Un posible problema resulta de cada ajuste debido a la imposibilidad de ajustar los parámetros que dependen del proceso de manera independiente ya que un cambio en cualquiera de ellos afectará al resto.

Estas variables pueden clasificarse en cinco categorías [1]:

- Temperatura
- Presión
- Tiempo
- Recorrido

De las cuatro categorías definidas para las variables de inyección comentaremos a continuación los parámetros más importantes que forman parte de cada una de ellas.

### 3.4.1 TEMPERATURA DE INYECCIÓN

Se trata de la temperatura a la cual el material fundido es introducido dentro de la cavidad del molde. La temperatura del material evoluciona gradualmente aumentando dentro del cilindro de calefacción conforme la unidad de inyección lo fuerza a avanzar hacia la parte delantera del husillo median el giro de este. El cilindro de calefacción se divide en cuatro zonas de calentamiento que se controlan de manera independiente: alimentación, plastificación, dosificación y boquilla. La temperatura de inyección es función del material y nunca debe llegar a sobrepasar la temperatura a la cual el material comienza a degradarse perdiendo así las propiedades necesarias para la correcta fabricación de la pieza, pero siendo suficiente para que el material fluya correctamente.

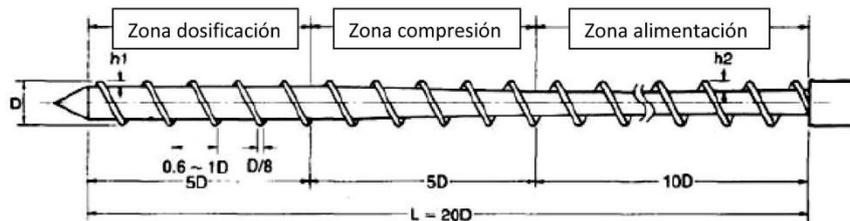


Ilustración 11 - Zonas de un husillo

### 3.4.2 TEMPERATURA DEL MOLDE

Se trata de la temperatura a la cual se encuentra la superficie de la cavidad del molde. Al ser la superficie a través de la cual se va a realizar la transferencia de calor, la temperatura debe ser suficientemente baja para extraer el calor del material plástico y conseguir que solidifique. Al no ser constante en toda la superficie del molde debido a las formas complejas de las piezas y al diseño de los circuitos de refrigeración, para la realización de cálculos se toma el valor medio a lo largo de toda la cavidad. La velocidad de enfriamiento del material es un factor muy importante ya que de él dependerán directamente tanto el tiempo de ciclo de la inyección como las propiedades de la pieza.

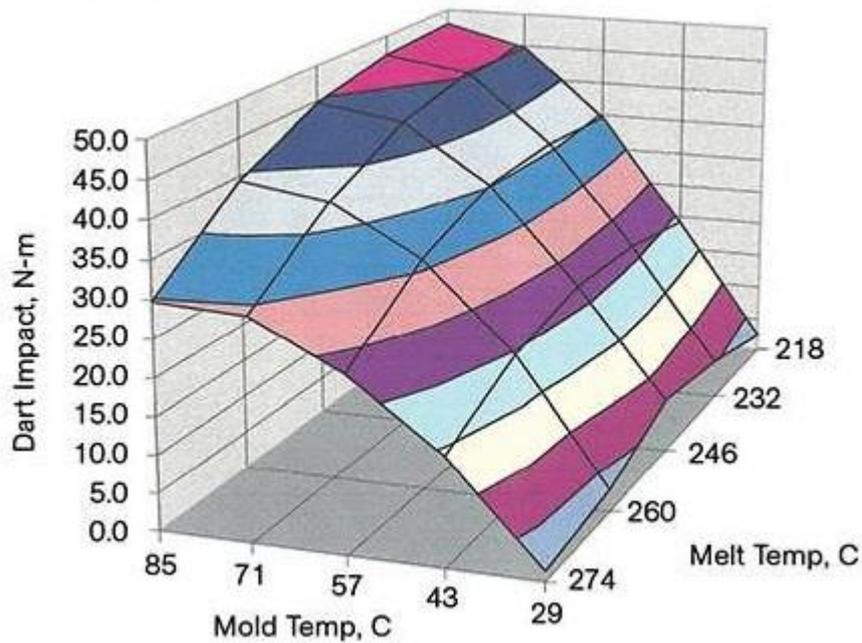


Ilustración 12 - Resistencia al impacto en un ensayo de caída de dardo de un material ABS en función de la temperatura del molde y la temperatura del fundido

### 3.4.3 PRESIÓN DE INYECCIÓN

Es la presión que ejerce husillo sobre el material que se encuentra plastificado en el interior del cilindro de calefacción cuando la unidad de inyección lo desplaza hacia adelante. De esta manera se fuerza el material a fluir hacia el interior de las cavidades del molde. Para que el llenado del molde se produzca en el menor tiempo posible la presión inicial debe ser lo mayor posible.

### 3.4.4 PRESIÓN DE COMPACTACIÓN O MANTENIMIENTO

Una vez el tiempo de llenado ha terminado, no es necesario mantener la presión de inyección ya que los valores son demasiado altos y podría terminar generando problemas en la máquina o defectos en la pieza. Por esta razón se aplica una presión de mantenimiento cuando el molde se ha llenado casi por completo ya que en la fase de mantenimiento algunas partes de la pieza han comenzado a solidificarse y contraerse de manera que quedan espacios libres, de esta forma se obliga al material a continuar fluyendo, completando los huecos y obteniendo así una pieza con una densidad uniforme.

### 3.4.5 PRESIÓN DE RETROCESO O CONTRAPRESIÓN

Una vez terminada la etapa de compactación y con los canales de entrada ya solidificados, el husillo mediante un movimiento de rotación hace pasar el material hacia la parte delantera friccionándolo con las paredes calientes haciendo que se caliente y llegue al punto de plastificación. El material que se va acumulando en la punta obliga al husillo a retroceder hacia atrás generándose así la contrapresión. Esta contrapresión favorece el aporte de calor, la desgasificación del material mejorando así la compactación y homogenización.

### 3.4.6 TIEMPO DE INYECCIÓN INICIAL

Depende de numerosos factores al no ser un parámetro que pueda establecerse directamente en la máquina. Quedará definido en función de la cantidad de material que se está inyectando, de su viscosidad, de las características la cavidad del molde y de la capacidad de inyección que se está utilizando. El tiempo de inyección se divide en dos diferenciando entre el tiempo de inyección inicial y el tiempo de mantenimiento. El tiempo de inyección inicial es el tiempo necesario para que el husillo con el movimiento axial llene por completo la cavidad del molde. El tiempo medio de llenado de las cavidades se sitúa entre los 2 y los 4 segundos.

### 3.4.7 TIEMPO DE MANTENIMIENTO

También denominado tiempo de compactación, es el tiempo que transcurre desde la finalización del llenado de la cavidad del molde una vez terminado el tiempo de llenado inicial hasta que los canales de entrada de material a la cámara quedan totalmente solidificados y durante el cual el husillo permanece en posición avanzada. Una vez los canales se han solidificado completamente el tiempo de mantenimiento termina ya que la cavidad ha quedado totalmente aislada. A partir de aquí el enfriamiento de la pieza continúa mientras transcurre a la vez la plastificación del material. El tiempo medio de mantenimiento para una pieza 1.5 mm no suele ser superior a 6 segundos.

### 3.4.8 TIEMPO DE ENFRIAMIENTO

Se trata de una de las variables más importantes del ciclo de inyección, ya que de ella depende principalmente el poder obtener una pieza de buena calidad. Es el tiempo que transcurre desde que termina la fase de mantenimiento hasta que la pieza alcanza la rigidez suficiente para extraerla del molde. Cuanto mayor sea el espesor de la pieza que se está inyectando, mayor será el tiempo necesario para su enfriamiento. El tiempo

medio de enfriamiento de una pieza con 1.5 mm de espesor está situado entre los 9 y los 12 segundos para que llegue a alcanzar la rigidez suficiente que permita su extracción.

### 3.4.9 RECORRIDO DE DOSIFICACIÓN

Se refiere como recorrido de dosificación al valor correspondiente al desplazamiento del tornillo de plastificación. Con este recorrido se establece la cantidad de material a plastificar que debe ser ligeramente superior a la cantidad necesaria para inyectar, entre un 10% y 15% más. Este porcentaje extra, también llamado cojín, es necesario para asegurar una transmisión correcta de la presión de mantenimiento.

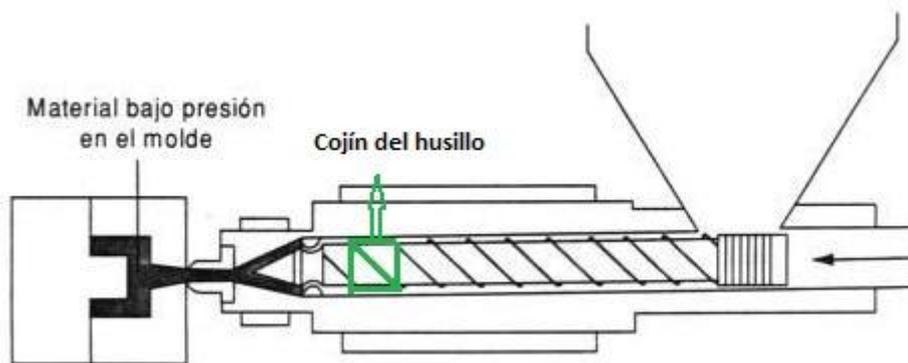


Ilustración 13 - Cojín del husillo

Por otro lado, también encontramos variables que afectan al proceso de manera indirecta pero que en un ambiente de producción difícilmente pueden ser combatidas. De estas variables nombramos a continuación algunos ejemplos que fácilmente pueden darse durante la producción:

- La calidad del material. Pueden aparecer problemas debido a un problema en la fabricación del lote de material o una contaminación del material en la tolva de alimentación o en el recipiente de almacenamiento al mezclarse por un fallo humano.
- La temperatura ambiental. Puede afectar a la refrigeración del molde dependiendo cuando los sistemas de refrigeración o calentamiento del molde no están preparados para trabajar en temperaturas extremas.
- El porcentaje de humedad. Un porcentaje de humedad elevado puede llegar a afectar en condiciones de temperatura ambiental bajas al material del que se abastece la inyectora produciendo condensación en los conductos de transporte que van desde la tolva de abastecimiento a la pre-tolva al aportar humedad al

material que se había pre secado previamente y haciendo que aparezcan defectos de babas en la pieza.

### 3.5 PROCESOS DE POST INYECCIÓN

El proceso de inyección se contempla desde que el material entra en la tolva de abastecimiento del husillo hasta que la pieza es introducida en su embalaje.

En el momento en que la pieza es extraída del molde el proceso de inyección propiamente dicho terminaría y darían comienzo los procesos de post inyección. La pieza inyectada puede ser sometida en caso necesario a diferentes operaciones que la prepararán para procesos posteriores o para su expedición a cliente.

#### 3.5.1 MODOS DE TRABAJO

Existen diferentes maneras de extraer la pieza del molde una vez el enfriamiento está terminado. La elección del método de extracción se puede ver delimitado en función del método de trabajo empleado, manual, automático o semiautomático o por procesos que se le tenga que realizar a la pieza una vez extraída del molde.

1. Automático: Cada vez que termine el ciclo de inyección lo repetirá automáticamente hasta que se le dé la orden de parada.
2. Semiautomático: Realiza una secuencia completa de inyección al igual que en el modo automático. Pero a diferencia del modo de trabajo en automático, una vez terminado el ciclo de inyección no repetirá el ciclo quedando a la espera de que se le vuelva a indicar que inicie el ciclo mediante una señal de arranque.
3. Manual: La máquina realiza los movimientos básicos de un ciclo de inyección al pulsar los pulsadores del cuadro de control.

#### 3.5.2 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

De esta manera en función del modo de trabajo empleado podemos distinguir entre los siguientes métodos de extracción:

- Caída por gravedad: Cuando la unidad de cierre finaliza el movimiento de apertura, se accionan unas correderas que desmoldean la pieza dejándola caer en una cinta la cual transportará la pieza hasta el operario.

- Extracción manual: Es un método de extracción empleado al trabajar en manual y semiautomático. El operario debe abrir la puerta de seguridad para extraer la pieza del molde. Una vez extraída el operario debe cerrar la puerta e indicar a la máquina que comience de nuevo el ciclo de inyección. Está en desuso debido al riesgo de seguridad que supone para el operario tener que introducir parte del cuerpo dentro de la máquina de inyección.
- Mediante robot-manipulador: Se instala en la propia máquina o cerca de ella un robot (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) que puede realizar rápidamente diferentes operaciones:
  - Extracción de la pieza del molde.
  - Colocación de las piezas extraídas en la cinta transportadora.
  - Corte de material sobrante de la inyección mediante una manopresa (Ilustración 15) correctamente adaptada o mediante la ayuda de un robot auxiliar.

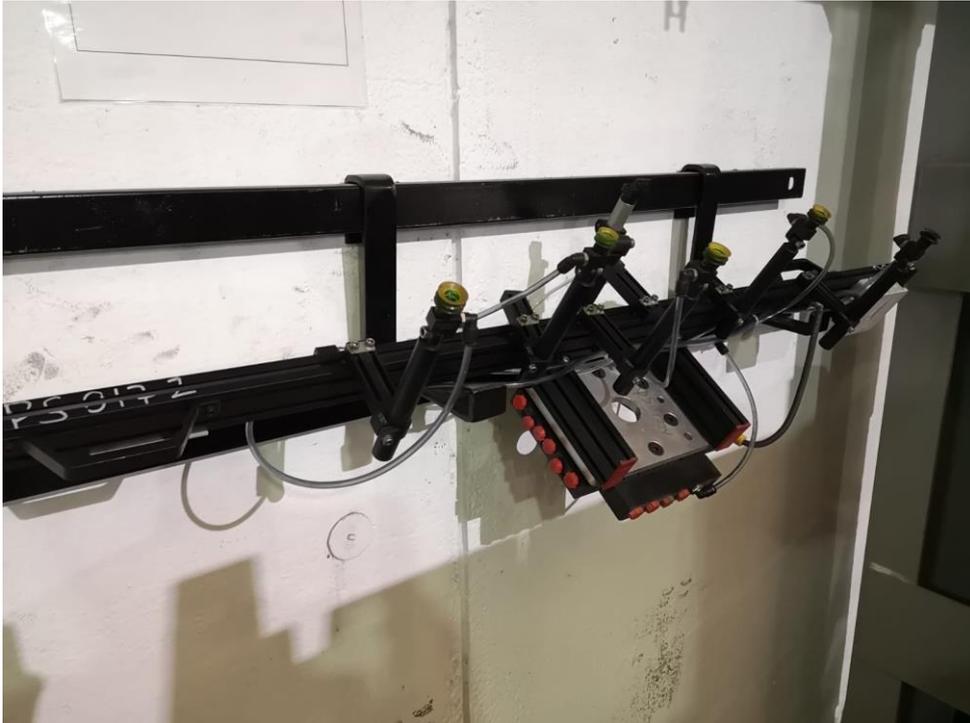


*Ilustración 14 - Robot manipulador ABB 6700*

- ❖ Manopresas: Son elementos indispensables que permiten al robot la manipulación de las piezas (Ilustración 15). Se adaptan a la forma de la pieza y

pueden llegar a incorporar diferentes elementos que realicen operaciones en la pieza antes de depositarla en la cinta. Generalmente incorporan:

- Ventosas de vacío para la sujeción de la pieza.
- Pinzas de sujeción y cuchillas de corte. La combinación de ambas permite la sujeción de los bebederos de la pieza para ser cortados posteriormente y liberados en un contenedor o un triturador para su posterior reutilización.



*Ilustración 15 - Mano presa del inserto*

### 3.5.3 MONTAJE DE COMPONENTES

Cada pieza que se fabrica es diferente. Con el aumento de la complejidad de los proyectos y la necesidad de reducción de costes cada vez es más común el montaje de componentes a pie de inyectora. Se pueden montar componentes en función de la saturación de trabajo del operario y de la disponibilidad de un robot que puede realizar trabajos repetitivos.

Un ejemplo es el inserto estudiado en el presente proyecto. En el siguiente diagrama de flujo (Ilustración 16) podemos ver las operaciones realizadas en el inserto para su preparación para el paso de montaje final:

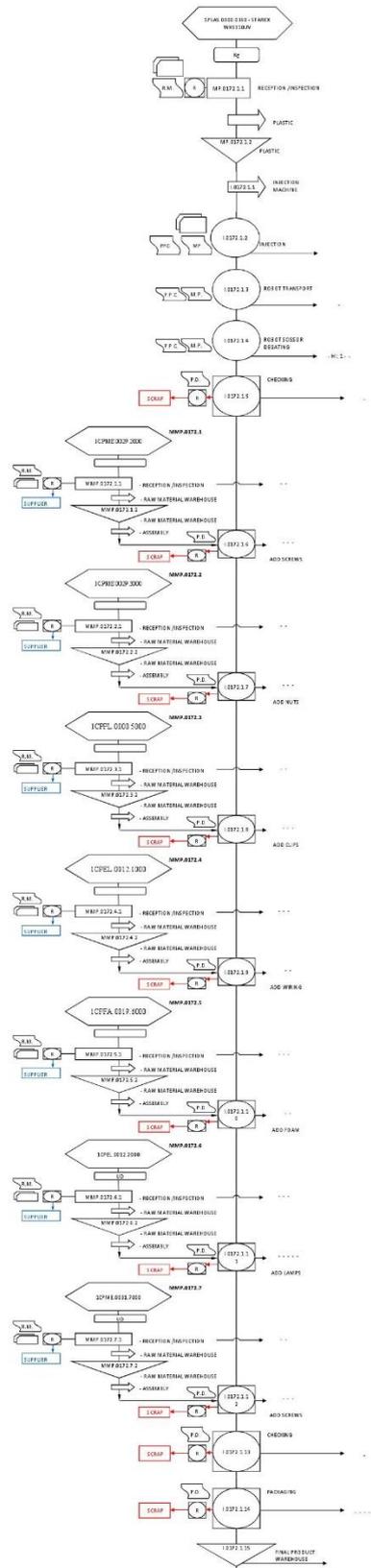


Ilustración 16 - Diagrama de flujo con 3 operarios

### 3.5.4 EMBALADO

Una vez terminadas todas las operaciones que se le deben realizar a la pieza, esta es colocada en un embalaje previamente definido. Se pueden diferenciar principalmente tres tipos de embalaje:

- Cliente: embalaje definido generalmente por el cliente (Ilustración 17) mediante el cual se envía el producto terminado ya sea inyectado, pintado o montado.



*Ilustración 17 - Embalaje de cliente del blende del VW T-Cross*

- WIP: es el embalaje definido por la propia empresa para movimiento de material de consumo interno (Ilustración 18).



*Ilustración 18 - Embalaje WIP utilizado en el inserto PS017.2*

- Alternativo: Son embalajes que se definen como sustitutos de los dos anteriores (Ilustración 19). El uso de embalaje alternativo es debido principalmente a la falta estos, pero también son utilizados en operaciones especiales que requieren generar una gran cantidad de stock.



Ilustración 19 - Embalaje alternativo para envío a cliente del areofin del inserto del alerón del Opel Meriva

## 4. ESTUDIO DE LAS POSIBLES ALTERNATIVAS

Años atrás los procesos de inyección se industrializaban de manera sencilla, con pocos o ningún proceso a pie de máquina. Esto suponía una complejidad menor en el desarrollo de los procesos ya que la única dificultad residía en que se industrializase correctamente el proceso propio de inyección. El montaje de las piezas estaba reservado como proceso posterior realizado generalmente en un puesto preparado especialmente para ello.

Poco a poco han ido evolucionando los procesos hasta convertirse en arduas tareas que se deben de desarrollar en los pasos previos al comienzo de la producción. Cada vez con más estudios para minimizar los costes de producción y así aumentar el retorno de beneficio obtenido durante la vida del proyecto o simplemente para poder ofertar de manera más competitiva dentro del mercado.

En la búsqueda de la mejora continua dentro de los procesos existen una serie de factores a tener en cuenta [\[15\]](#):

- El factor económico: Es la base para la justificación de cualquier mejora de proceso. El estudio de viabilidad económica determinará si el retorno de la inversión resulta suficiente para la empresa.
- El factor humano. Se trata del segundo factor más importante al afectar directamente a la seguridad de los operarios. Los principales problemas humanos dentro de los procesos de inyección están directamente relacionados con la repetitividad y la ergonomía de las tareas a realizar. Una modificación beneficiosa para el operador en cuanto a esfuerzo y ergonomía en el proceso a optimizar puede resultar además en un aumento de la motivación del operario. Cuando el proceso no es mejorable se sule con la rotación de los operarios cada un cierto tiempo determinado por el departamento de seguridad de la empresa.
- El factor técnico/ tecnológico. Al igual que en el factor económico, la mejora a nivel tecnológico debe de venir acompañada de un estudio previo que justifique el cambio, ya sea por una mejora que tecnológicamente supere el nivel actual del proceso o que al menos sea útil en el mismo.

Previo a la realización del estudio de viabilidad económica se debe realizar un estudio de métodos sobre el proceso, a partir del cual se determinarán los posibles puntos de mejora identificándolos como cuellos de botella.

## 4.1 ESTUDIO DE MÉTODOS Y TIEMPOS

Para el comienzo del proyecto el primer paso a realizar es determinar los puntos del proceso que pueden ser susceptible de mejora. Para ello nos ayudamos del estudio de métodos y tiempos, el cual consiste en determinar los tiempos empleados en cada una de las operaciones realizadas por los diferentes elementos dentro del proceso de inyección. En este caso serán estudiadas las operaciones realizadas por la máquina de inyección, el robot manipulador y los operarios.

## 4.2 ANÁLISIS DEL PROCESO ACTUAL

A partir de este método determinamos el cuello de botella del proceso de inyección y la saturación de los diferentes procesos.

La saturación la podemos definir como la relación entre el tiempo empleado en el proceso y el tiempo disponible para realizarlo, Se expresa en % y se calcula como:

$$\text{Saturación} = \frac{t_{\text{empleado}}}{t_{\text{disponible}}} \times 100 \text{ [\%]}$$

Ecuación 1 - Cálculo de la saturación de un operario

El análisis comienza con la medición de tiempos de las operaciones realizadas por los operarios que montan componentes a pie de máquina. En la Ilustración 20 se puede observar la distribución de los puestos o lay out y las operaciones a realizar por cada uno de los operarios que se detallaron anteriormente en diagrama de flujo (Ilustración 16):

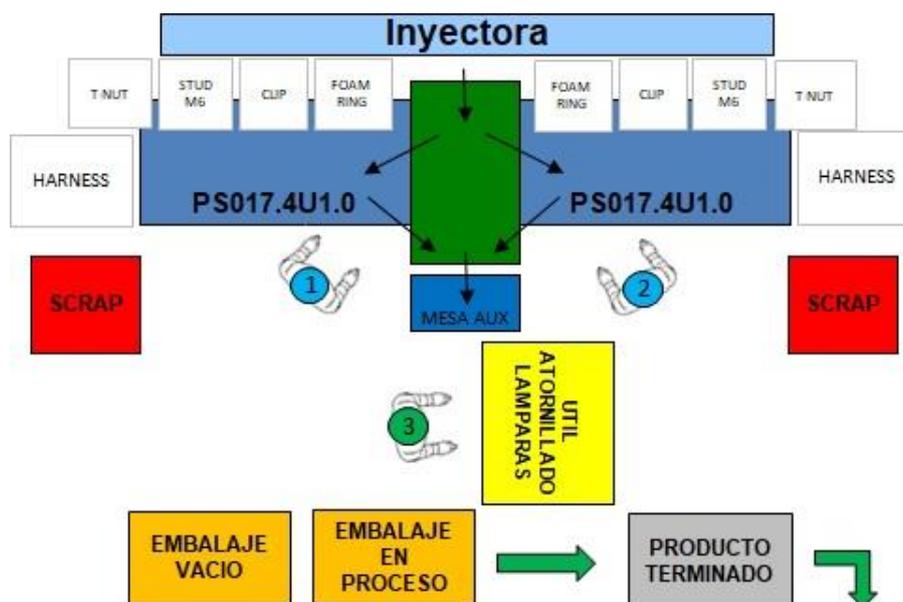


Ilustración 20 - Distribución de los puestos con 2 operarios

Para poder hacer una toma de tiempos con precisión grabamos un vídeo mediante el cual podremos detallar el tiempo empleado en cada operación. Se realizan diez mediciones en cada puesto para obtener el tiempo promedio por operación. Con los datos volcados en una tabla obtendremos los tiempos promedios por puesto:

- Tiempos de las operaciones realizadas por los operarios 1 y 2:

Tabla 2 - Tiempos de las operaciones de montaje de componentes de los operarios 1 y 2

PROCESO OBSERVADO		MONTAJE COMPONENTES		HOJA DE OBSERVACION DE TIEMPOS									OPERARIO
													1 y 2
Nº	TAREAS	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	TIEMPO DE LA TAREA	
1	Coger inserto	2,5 "	2,4 "	2,5 "	3,5 "	2,6 "	3,1 "	3,4 "	3,0 "	3,2 "	3,1 "	2,9 "	
		2,5 "	2,4 "	2,5 "	3,5 "	2,6 "	3,1 "	3,4 "	3,0 "	3,2 "	3,1 "		
2	Verificar	6,9 "	6,2 "	6,7 "	7,5 "	6,6 "	6,9 "	7,1 "	7,1 "	7,1 "	6,9 "	4,0 "	
		4,4 "	3,8 "	4,2 "	4,0 "	4,0 "	3,8 "	3,7 "	4,1 "	3,9 "	3,8 "		
3	Colocar en cuna	9,2 "	8,4 "	8,6 "	9,4 "	8,7 "	8,7 "	9,4 "	8,9 "	9,0 "	9,0 "	2,0 "	
		2,3 "	2,2 "	1,9 "	1,9 "	2,1 "	1,8 "	2,3 "	1,8 "	1,9 "	2,1 "		
4	Montar 2 tuercas	15,4 "	14,8 "	14,7 "	15,2 "	14,3 "	14,6 "	15,1 "	15,2 "	15,1 "	15,2 "	6,0 "	
		6,2 "	6,4 "	6,1 "	5,8 "	5,6 "	5,9 "	5,7 "	6,3 "	6,1 "	6,2 "		
5	Montar 2 clips	20,8 "	20,6 "	20,4 "	21,4 "	20,1 "	21,0 "	21,2 "	21,0 "	21,5 "	21,7 "	6,0 "	
		5,4 "	5,8 "	5,7 "	6,2 "	5,8 "	6,4 "	6,1 "	5,8 "	6,4 "	6,5 "		
6	Montar 7 tornillos	40,8 "	43,1 "	41,1 "	44,2 "	41,3 "	40,7 "	42,4 "	41,7 "	42,3 "	41,5 "	20,9 "	
		20,0 "	22,5 "	20,7 "	22,8 "	21,2 "	19,7 "	21,2 "	20,7 "	20,8 "	19,8 "		
7	Montar 5 espumas	61,2 "	63,2 "	60,7 "	63,6 "	60,7 "	61,4 "	62,4 "	62,0 "	62,7 "	61,6 "	20,0 "	
		20,4 "	20,1 "	19,6 "	19,4 "	19,4 "	20,7 "	20,0 "	20,3 "	20,4 "	20,1 "		
8	Coger inserto	62,4 "	64,3 "	61,7 "	64,8 "	61,6 "	62,5 "	63,4 "	63,0 "	63,6 "	62,4 "	1,0 "	
		1,2 "	1,1 "	1,0 "	1,2 "	0,9 "	1,1 "	1,0 "	1,0 "	0,9 "	0,8 "		
9	Colocar inserto	63,6 "	65,1 "	62,8 "	66,0 "	62,5 "	63,4 "	64,4 "	64,1 "	64,5 "	63,4 "	1,0 "	
		1,2 "	0,8 "	1,1 "	1,2 "	0,9 "	0,9 "	1,0 "	1,1 "	0,9 "	1,0 "		
10	Montar cable	78,3 "	80,3 "	78,4 "	81,1 "	77,4 "	78,2 "	79,5 "	79,1 "	79,3 "	79,2 "	15,1 "	
		14,7 "	15,2 "	15,6 "	15,1 "	14,9 "	14,8 "	15,1 "	15,0 "	14,8 "	15,8 "		
11	Pre montar luz	86,4 "	87,9 "	86,4 "	89,3 "	85,7 "	86,1 "	87,2 "	87,1 "	87,4 "	86,6 "	7,9 "	
		8,1 "	7,6 "	8,0 "	8,2 "	8,3 "	7,9 "	7,7 "	8,0 "	8,1 "	7,4 "		
12	Coger inserto	88,4 "	90,0 "	88,2 "	91,5 "	87,8 "	88,1 "	89,3 "	88,9 "	89,3 "	88,8 "	2,0 "	
		2,0 "	2,1 "	1,8 "	2,2 "	2,1 "	2,0 "	2,1 "	1,8 "	1,9 "	2,2 "		
13	Colocar inserto	90,3 "	92,2 "	90,3 "	93,6 "	90,0 "	89,9 "	91,1 "	90,8 "	91,3 "	90,9 "	2,0 "	
		1,9 "	2,2 "	2,1 "	2,1 "	2,2 "	1,8 "	1,8 "	1,9 "	2,0 "	2,1 "		
<b>TIEMPO DE CICLO</b>		626,2 "	638,5 "	622,5 "	651,1 "	619,3 "	624,6 "	635,9 "	631,9 "	636,3 "	630,3 "	<b>91,0 "</b>	

- Tiempos de las operaciones realizadas por el operario 3:

Tabla 3 - Tiempos de las operaciones de montaje de componentes del operario 3

PROCESO OBSERVADO	MONTAJE COMPONENTES	HOJA DE OBSERVACION DE TIEMPOS										OPERARIO
												3
Nº	TAREA	1	2	3	4	5	6	7	9	10	12	TIEMPO DE LA TAREA
1	Coger inserto	2,1 "	2,2 "	2,1 "	1,9 "	1,8 "	2,1 "	2,3 "	1,8 "	1,9 "	2,1 "	2,0 "
		2,1 "	2,2 "	2,1 "	1,9 "	1,8 "	2,1 "	2,3 "	1,8 "	1,9 "	2,1 "	
2	Dejar inserto	5,1 "	5,4 "	5,3 "	4,8 "	4,6 "	5,1 "	5,4 "	5,1 "	5,0 "	4,9 "	3,0 "
		3,0 "	3,2 "	3,2 "	2,9 "	2,8 "	3,0 "	3,1 "	3,3 "	3,1 "	2,8 "	
3	Montar luz	19,1 "	19,2 "	19,4 "	18,6 "	18,5 "	18,8 "	19,4 "	19,2 "	18,8 "	18,8 "	13,9 "
		14,0 "	13,8 "	14,1 "	13,8 "	13,9 "	13,7 "	14,0 "	14,1 "	13,8 "	13,9 "	
4	Montar tornillos	35,3 "	35,3 "	35,3 "	34,4 "	34,3 "	34,9 "	35,3 "	35,5 "	34,9 "	34,6 "	16,0 "
		16,2 "	16,1 "	15,9 "	15,8 "	15,8 "	16,1 "	15,9 "	16,3 "	16,1 "	15,8 "	
5	Coger inserto	38,2 "	38,3 "	38,2 "	37,6 "	37,4 "	37,7 "	38,4 "	38,3 "	38,1 "	37,8 "	3,0 "
		2,9 "	3,0 "	2,9 "	3,2 "	3,1 "	2,8 "	3,1 "	2,8 "	3,2 "	3,2 "	
6	Embalar inserto	43,5 "	43,5 "	43,6 "	42,6 "	42,5 "	43,0 "	43,2 "	43,3 "	43,3 "	42,9 "	5,1 "
		5,3 "	5,2 "	5,4 "	5,0 "	5,1 "	5,3 "	4,8 "	5,0 "	5,2 "	5,1 "	
<b>TIEMPO DE CICLO</b>		43,5 "	43,5 "	43,6 "	42,6 "	42,5 "	43,0 "	43,2 "	43,3 "	43,3 "	42,9 "	<b>43,1 "</b>

Por otro lado, encontramos otros dos elementos dentro del proceso de inyección cuyos tiempos también deben de ser medidos:

- Robot → El tiempo de ciclo es de 25 segundos.
- Máquina → El ciclo de inyección es de 50 segundos.

Con el conjunto de los tiempos de cada uno de los elementos podemos encontrar el cuello de botella y la saturación de cada proceso:

- Operarios 1 y 2 → El tiempo promedio de ciclo de los operarios que realizan las operaciones iniciales son de 93 segundos por pieza. Cada uno monta una pieza cada 100 segundos (dos inyecciones) por lo que la saturación de los operarios 1 y 2 es de un 93%. Además de las operaciones propias del montaje se deben incluir las operaciones de reposición de componentes que derivan del montaje. Por lo que se establece un tiempo medio aproximado para la reposición de cada uno de los componentes:
  - Reposición de tuercas → 10s cada 500 piezas.
  - Reposición de clips → 10s cada 5000 piezas.
  - Reposición de tornillos → 12s cada 700 piezas.
  - Reposición del rollo de espumas → 30s cada 600 piezas

- Reposición de cables → 7s cada 200 piezas.
- Reposición de luces → 8s cada 40 piezas.

Los tiempos de reposición tenidos en cuenta no suponen una carga de trabajo extra ya que no elevan la saturación del operario por encima del 95%. Con cada reposición el tiempo perdido debe de ser recuperado con los 7 segundos restantes que hay entre ciclos.

- Operario 3 → Con un tiempo de ciclo en el montaje de componentes de 43 segundos, se encuentra a una saturación del 86%. Con operaciones añadidas como:
  - Reposición de tornillos → 12s cada 1750 piezas.
  - Cambio de embalaje → 20s cada 42 piezas.

Las cuales elevarán la saturación del operario al 87%. Dado que la operación más restrictiva se trata del cambio de embalaje que supone un 1% de carga de trabajo al diluir el tiempo que se tarda en cambiar el embalaje entre todo el tiempo que se tarda en completar, no suponen una restricción en el proceso.

Cuando de carga de trabajo se trata, también existen unas limitaciones a tener en cuenta que limitan la asignación de tareas. Los operarios no pueden tener una carga de trabajo que eleve la saturación por encima del 95% ya que existen algunos factores que se deben tener en cuenta como:

- Tiempos de necesidades propias como ir al servicio.
  - Pérdida de rendimiento. No se puede trabajar al máximo ritmo durante todo el turno de trabajo a una saturación superior al 90%. Existe una pérdida de rendimiento conforme pasan las horas, por lo que ésta pérdida queda contemplada dentro del 5% restante de la saturación.
- Robot → Es el elemento con menor carga de trabajo dentro del proceso de inyección. El tiempo de trabajo desde que extrae la pieza del interior del molde, realiza el corte de bebederos, posiciona la pieza en la cinta y vuelve a la posición de inicio es únicamente de 25 segundos. Por tanto, la saturación del robot será del 50%.
  - Máquina → Se encuentra en este punto en una saturación del 100%. Al ser el elemento con mayor coste de mantenimiento y funcionamiento, siempre debe ser éste el límite superior del proceso que va marcando el ritmo. Existen excepciones, como utillajes de montaje o fresado, que pueden limitar el tiempo de ciclo de la máquina convirtiéndose en el cuello de botella.

### 4.3 EVALUACIÓN DE LAS POSIBILIDADES DE MEJORA

Una vez localizado el cuello de botella y con la saturación de los diferentes elementos establecida, se proponen diferentes alternativas que puedan resultar en una mejora de proceso.

#### 4.3.1 ALTERNATIVA NÚMERO 1

La primera posibilidad de mejora se busca en el aumento de la saturación del tercer operario. Con una carga del 85% quedan 7 segundos disponibles los cuales pueden ser utilizados para adicionar un paso más de montajes de componentes. Para ello es necesario comprobar en el proceso posterior de montaje, componentes que tengan factibilidad de ser traspasados al montaje de componentes en línea a pie de inyectora.

Encontramos un componente restante en el proceso final de montaje con factibilidad para ser traspasado al montaje en línea de inyección. Se trata de una espuma longitudinal con un tiempo medio de colocación de 17 segundos. Con este tiempo añadido la saturación del tercer operario respecto del tiempo de ciclo supone una carga del 111%, por lo que la alternativa de elevar el número de componentes a montar por el tercer operario quedaría descartada.

#### 4.3.2 ALTERNATIVA NÚMERO 2

Al no ser posible la adición de un componente al proceso de inyección por falta de tiempo disponible, se plantea la alternativa de una reducción en el tiempo de ciclo de la inyección. Al tratarse de un proyecto de producción de alto volumen, una reducción en el tiempo de ciclo puede aportar una serie de beneficios:

- ✓ Reducción en cantidad de horas necesarias asignadas para la fabricación del inserto tratado en el presente trabajo.
- ✓ Reducción de horas extra semanales debidas a la carga de producción de la máquina

Dentro de la alternativa número 2 nos encontramos con un contrapunto en la mejora debido a la reducción de ciclo. Como se ha visto anteriormente la saturación de los operarios se encuentra en el límite, lo que da pie a dos escenarios posibles en la reducción del ciclo.

#### 4.3.2.1 ESCENARIO 1

A partir de una reducción de ciclo de 2 segundos, la carga máxima admisible de trabajo del 95% en los puestos 1 y 2 se vería sobrepasada. Por lo que para llevar a cabo dicha reducción sería necesario transferir al paso posterior de montaje alguno de los componentes que son montados actualmente en inyección.

Queda desestimada debido al aumento que supondría en el coste de proceso.

#### 4.3.2.2 ESCENARIO 2

En el segundo escenario se plantea la introducción de un cuarto operario con el fin de realizar un rebalanceo en las operaciones igualando la carga de las operaciones.

El escenario 2 es la opción elegida para llevar a la práctica como mejora del proceso productivo. El escenario económico será desarrollado detenidamente más adelante.

Para llevar a cabo una reducción en el tiempo de ciclo de la inyección, se debe actuar desde el punto más crítico. El tiempo de refrigeración ocupa entre el 50% y el 85% del tiempo de ciclo de inyección.

## 5. SOLUCIÓN ESCOGIDA / ANÁLISIS PARA LA REDUCCIÓN DEL TIEMPO DE CICLO

Para comenzar con el desarrollo de la solución escogida debemos de analizar la situación actual en la que se encuentra el proceso de inyección. Una vez encontrado el cuello de botella se desarrollan los cálculos teóricos a partir de los cuales supondremos el escenario objetivo que se pretende alcanzar.

### 5.1 ESCENARIO TEÓRICO

Como hemos visto anteriormente el cuello de botella del proceso se encuentra en este punto en la máquina de inyección. Para establecer la ventana de trabajo del proceso actual trabajaremos a partir de los tiempos (medidos en segundos) establecidos para cada ciclo de inyección:

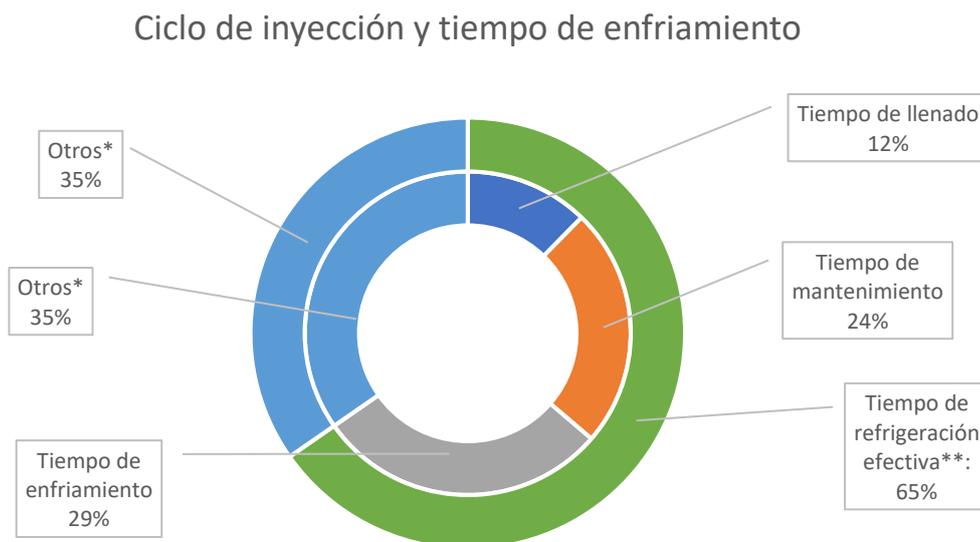


Ilustración 21 - Ciclo de inyección inicial del inserto

Tabla 4 - Tiempos de ciclo iniciales

		Tiempo
<b>Etapas</b>	Tiempo de llenado	<b>6,15</b>
	Tiempo de mantenimiento	<b>12</b>
	Tiempo de enfriamiento	<b>14,5</b>
	Tiempo de ciclo	<b>50</b>
	Otros	<b>17,35</b>
Tiempo de refrigeración efectiva		<b>32,65</b>

Dentro de los tiempos del ciclo de inyección se considera el tiempo de refrigeración efectiva la suma total de los tiempos de refrigeración. Al ser el tiempo total que transcurre desde el comienzo de la refrigeración cuando comienza la inyección dentro del molde, donde se solidifica el material plastificado al entrar en contacto con las paredes del molde hasta que se extrae la pieza. Durante todo este tiempo es la refrigeración del molde la que se encarga de extraer el calor aportado por el material plástico.

Como podemos ver en la Ilustración 21 el tiempo de refrigeración efectiva supone el 65% del tiempo total dentro del ciclo de inyección.

Dentro de la categoría de tiempos establecida como "otros" se encuentran los tiempos restantes que influyen en el tiempo de ciclo:

- Tiempo de apertura
- Tiempo de cierre
- Tiempo de extracción

Los tiempos citados anteriormente dependen directamente de las características de la máquina y el robot. Aunque el tiempo de acceso del robot también depende de la optimización del programa realizado por el técnico, supondremos que se encuentran a máxima capacidad.

Por tanto, el estudio se centrará en el tiempo de refrigeración efectiva al ser el tiempo que ocupa el mayor porcentaje dentro del ciclo de inyección.

### 5.1.1 LA REFRIGERACIÓN EN EL CICLO DE INYECCIÓN

Uno de los puntos más importantes en la inyección de termoplásticos es la refrigeración. La velocidad con la que se es capaz de intercambiar calor entre la pieza y el molde puede afectar enormemente en el rendimiento económico que se va a obtener de él. Se debe extraer el calor de la pieza inyectada hasta que ésta se encuentra por debajo del punto de fusión en la zona más caliente, lo que permitirá la extracción del molde sin que se vea deformada.

Para una correcta extracción del calor de la inyección los moldes se equipan con un sistema de refrigeración mediante conducciones permiten la circulación de refrigerantes. La calidad del molde depende en gran medida de la capacidad para trabajar a temperatura constante durante cada lote de producción.

Para un funcionamiento correcto el molde debe alcanzar la temperatura de trabajo, la cual se puede conseguir haciendo pasar agua caliente a través de las conducciones o simplemente dejando que suba la temperatura mediante inyecciones. Mientras que el molde no haya alcanzado dicha temperatura las piezas fabricadas pueden aparecer con defectos de producción. Una vez alcanzada se debe mantener la temperatura lo más constante posible, para ello se utilizan atemperadores (Ilustración 22) los cuales se encargan de abrir o cerrar el paso del refrigerante al molde para mantenerlo a la temperatura establecida. La máquina en la cual se realiza la producción del inserto estudiado en el presente trabajo cuenta con tres atemperadores.



*Ilustración 22 - Atemperadores Frigel*

### 5.1.2 EL TIEMPO DE REFRIGERACIÓN

Aunque el tiempo durante cual se extrae la mayor parte del calor es denominado tiempo de refrigeración, el calor se extrae desde el momento en que el material entra en contacto con las paredes de la cavidad hasta que el molde se abre cuando se alcanza la temperatura de desmoldeo para para dejar paso a la extracción de la pieza. Todo el tiempo que transcurre desde la inyección hasta la extracción se define como tiempo de refrigeración efectiva.

El diseño de la refrigeración del molde principalmente debe centrarse en las zonas donde se encuentra una mayor dificultad para la extracción del calor. Estas zonas también son denominadas puntos calientes.

La transmisión de calor por conducción se describe mediante la ecuación diferencial de Fourier. Se considera como suficiente la transmisión de calor unidimensional debido a que el calor se extrae únicamente en una dirección, la dirección del espesor de la pieza. Esta aproximación será válida siempre que la relación entre longitud y espesor de la pieza sea mayor que 10. En el caso de la transmisión de calor unidireccional, la ecuación de Fourier se puede reducir a:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

Con un coeficiente de difusividad térmica:

$$a = \frac{k}{\rho c_p}$$

Donde:

- $k$ : es la conductividad térmica del material
- $c_p$ : es el calor específico del material
- $\rho$ : es la densidad del material

Asumiendo esto, inmediatamente después de la inyección, el material plástico fundido en la cavidad tiene un valor de temperatura constante y uniforme de  $T_{iny}$ , la temperatura de la pared de la cavidad  $T_p$  se mantiene constante durante todo el ciclo quedando la ecuación final respecto al tiempo de refrigeración de la siguiente manera:

$$t_c = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a} \ln\left(\frac{8}{\pi^2} \frac{T_{iny} - T_p}{T_{exp} - T_p}\right) \quad (2)$$

*Ecuación 2 - Tiempo de refrigeración para intercambio unidireccional*

siendo

$t_c$  el tiempo de refrigeración

s el espesor de la pieza

$T_{iny}$  la temperatura de inyección

$T_p$  la temperatura de la pared del molde

$T_{exp}$  la temperatura de expulsión de la pieza

### 5.1.3 EL FLUJO DE CALOR Y LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO

En la inyección de termoplásticos el molde debe extraer el calor suficiente para que el material se solidifique y la pieza pueda ser desmoldeada correctamente. Este intercambio de calor generalmente se debe hacer de la manera más rápida y uniforme posible.

Durante el proceso, el calor fluye desde el material plastificado hacia las paredes del molde a través de las cuales se realizará el intercambio del calor al fluido refrigerante. Para poder diseñar y dimensionar un sistema de refrigeración que sea capaz de extraer el calor generado por la inyección, se debe calcular el flujo de calor a partir de la diferencia de entalpía entre el material en el momento de la inyección y el del desmoldeo.

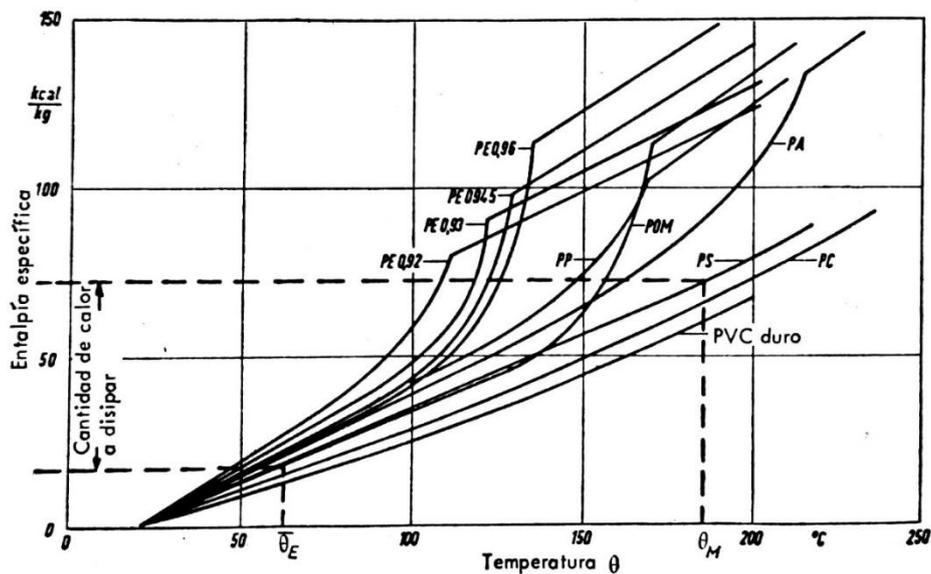


Ilustración 23 - Entalpía de materiales termoplásticos en función de la temperatura [4]

Operando conjuntamente la diferencia de entalpía con la masa inyectada en el interior del molde en el tiempo de ciclo de terminado podemos obtener el calor que debe ser

extraído. La masa inyectada se puede obtener a partir de multiplicar el volumen inyectado con la densidad media del proceso.

El proceso de intercambio de calor en inyección se puede considerar casi estacionario. A partir de esta suposición podemos obtener el balance de energías a tener en cuenta, el cual estará en equilibrio (Hong-Seok Park & Dang, n.d.):

$$\dot{Q}_{KS} + \dot{Q}_E + \dot{Q}_{TM} + \dot{Q}_L = 0 \quad (3)$$

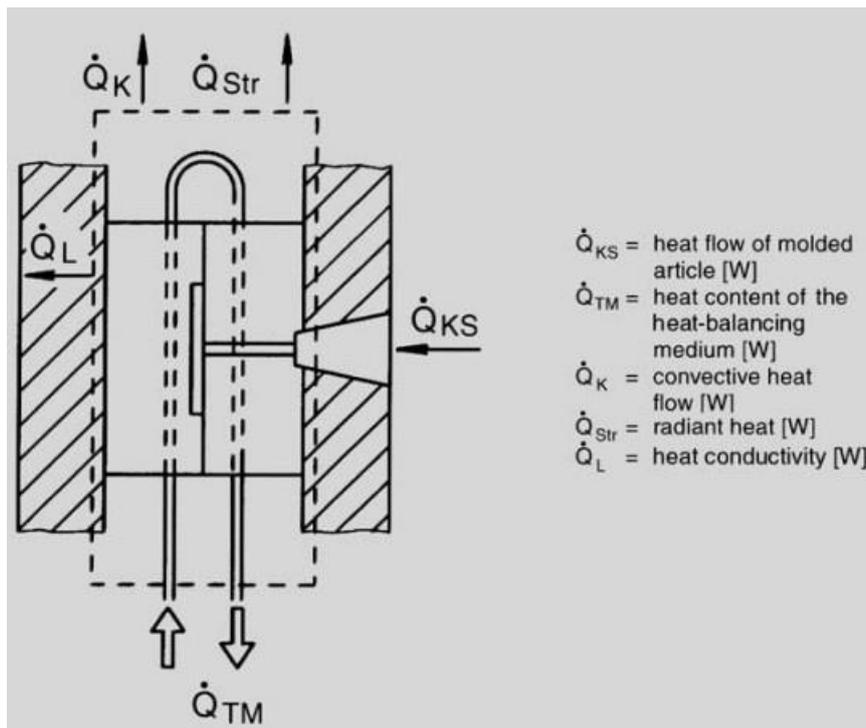
*Ecuación 3 - Balance de energías*

$\dot{Q}_{KS}$  = Energía aportada por el material plástico

$\dot{Q}_E = \dot{Q}_K + \dot{Q}_{Str}$  = Energía intercambiada con el ambiente

$\dot{Q}_{TM}$  = Energía disipada por la refrigeración

$\dot{Q}_L$  = Energía adicional aportada por la cámara caliente, agentes externos, evacuada del molde a los platos de la máquina...



*Ilustración 24 - Balance energético del intercambio de calor en un molde de inyección*

El calor del termoplástico fundido es extraído por la acción del refrigerante que circula por los circuitos de refrigeración y por las superficies externas del molde al ambiente mediante los fenómenos de convección y radiación y a los platos de la máquina inyectora por conducción. En la práctica las superficies externas del molde se pueden

suponer como paredes adiabáticas ya que el intercambio de calor a través de éstas es menor al 5% [11]. Tampoco es considerado el calor aportado por agentes externos para el balance de energías al ser depreciable frente al aportado por la masa del termoplástico. De modo que el único intercambio a ser considerado el que se realiza entre el termoplástico fundido y el refrigerante. La ecuación del balance de energías se simplifica despreciando el intercambio de calor al ambiente.

$$\dot{Q}_{KS} + \dot{Q}_{TM} = 0 \quad (4)$$

*Ecuación 4 - Balance de energías simplificado*

El calor proveniente del termoplástico se puede calcular como:

$$\dot{Q}_{KS} = \Delta h \cdot \frac{m}{t_C}$$

$$\Delta h = c_p \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = T_{iny} - T_{exp}$$

$$\dot{Q}_{KS} = c_p \cdot \frac{m}{t_C} \cdot (T_{iny} - T_{exp}) \quad (5)$$

*Ecuación 5 - Energía del material plástico*

siendo

$t_C$  tiempo de refrigeración

$m$  masa inyectada en la cavidad del molde

$\Delta h$  diferencia de entalpía del termoplástico

$\Delta T$  diferencia de temperatura entre la temperatura de inyección y la temperatura de extracción

$c_p$  calor específico del termoplástico

#### 5.1.4 EL CIRCUITO REFRIGERANTE

Durante la extracción de calor, la temperatura del refrigerante varía entre la entrada y la salida de acuerdo con el flujo de calor.

$$\dot{Q}_{TM} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (6)$$

*Ecuación 6 - Energía de la refrigeración*

$$\Delta T = T_{ent} - T_{sal}$$

$\dot{V}$  caudal que circula a través del conducto refrigerante

$\rho$  densidad del fluido refrigerante

$c_p$  calor específico del fluido refrigerante

La diferencia de temperatura del refrigerante entre la entrada y la salida debe estar comprendida entre 3 y 5 °C para asegurar una transmisión uniforme de calor en toda la longitud del circuito refrigerante. Si la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida es superior a 5°C puede provocar disfuncionalidades en el proceso de inyección y generar de esta manera defectos en la pieza inyectada al no llegar a enfriar correctamente los puntos calientes, alargando por tanto el tiempo de ciclo o imposibilitando la inyección de la pieza.

Por lo que una mejora en el flujo del refrigerante dentro del circuito puede resultar en una reducción del tiempo de ciclo mejorando la calidad de la pieza final al poder enfriar la pieza uniformemente.

#### 5.1.5 EL PROCESO ACTUAL

Debemos comprobar si el intercambio de calor entre la pieza y el molde es realizado correctamente. Para ello determinamos en primer lugar el calor aportado por el material a partir de la ecuación (4).

Los datos necesarios para el cálculo son:

- Masa ( $m$ ) → viene determinada a partir del peso de la pieza. El peso que debe de tener la pieza inyectada se extrae de la pauta de inyección.
- Calor específico del material ( $c_p$ ) → Se obtiene de la ficha técnica del material aportada por el proveedor.
- Temperatura de inyección ( $T_{iny}$ ) → Temperatura medida en la salida del husillo al expulsar el material.
- Temperatura de extracción ( $T_{exp}$ ) → Temperatura tomada en el punto central de la pieza en el momento de la apertura del molde.

Tabla 5 - Datos para el cálculo inicial

Masa (kg)	Temperatura de inyección (°C)	Temperatura de expulsión (°C)	Calor específico del material (J/Kg°C)
<b>1,056</b>	<b>255</b>	<b>72</b>	<b>1903,4</b>

De esta manera el calor aportado por el material sería:

$$\dot{Q}_{KS} = c_p \cdot \frac{m}{t_c} \cdot (T_{iny} - T_{exp})$$

$$\dot{Q}_{KS} = 1903,4 \cdot \frac{1,056}{32,65} \cdot (255 - 72) = 11265,8 J$$

Una vez es conocido el calor aportado por el material, se debe comprobar el calor extraído por el circuito refrigerante para determinar el balance energético. Para calcular la energía extraída por el circuito refrigerante son necesarios los siguientes valores:

- El caudal → El caudal total del circuito está formado por la suma de los caudales de cada uno de los colectores.

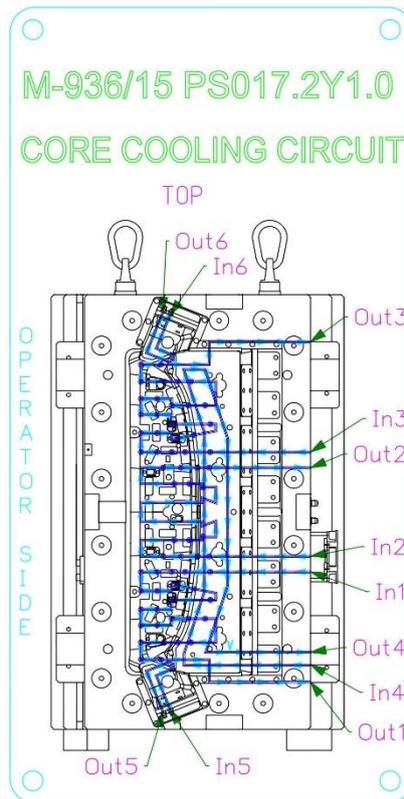


Ilustración 25 - Esquema de refrigeración del punzón

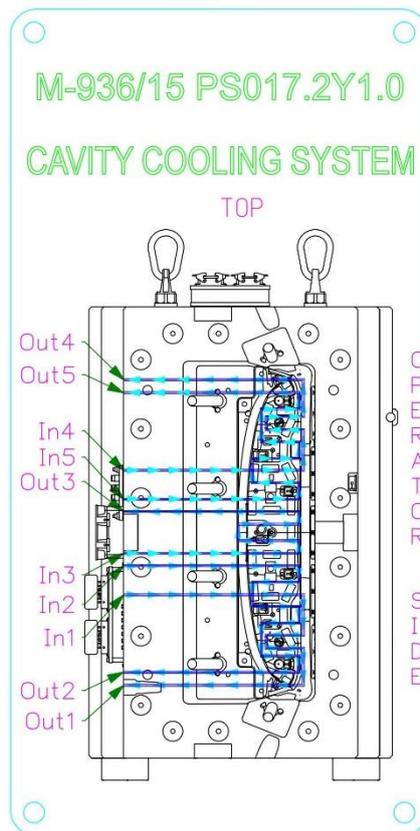


Ilustración 26 - Esquema de refrigeración de la cavidad

- Colector 1 → refrigera con agua fría al circuito 2 del punzón (macho).
  - Colector 2 → refrigera con agua caliente los circuitos restantes del punzón. Circuitos 1, 3, 4, 5 y 6.
  - Colector 3 → refrigera con agua caliente los circuitos de la cavidad (hembra).
- 
- Densidad del agua → Se toma la densidad del agua en la temperatura media del circuito.
  - Calor específico del agua → Se toma el calor específico del agua en la temperatura media del circuito.
  - Temperatura de entrada → Se toma la temperatura en la salida del atemperador.
  - Temperatura de salida → Se toma la temperatura en la entrada del atemperador.

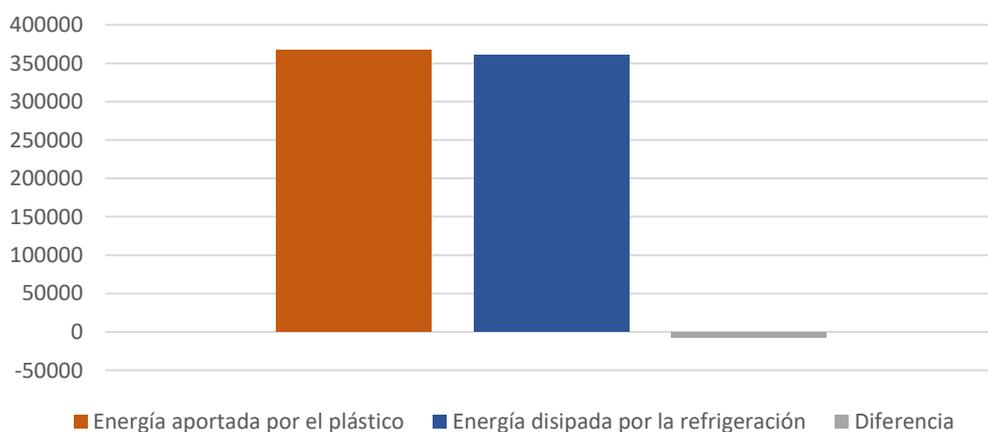
De esta manera a partir de la Ecuación 6 obtenemos la energía extraída por el circuito refrigerante:

Tabla 6 - Caudales y temperaturas iniciales de los circuitos de refrigeración

	Caudal			Temperatura			Energía (J)
	Teórico máximo (l/min)	Real actual (l/min)	%	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)	Diferencia	
Colector 1	13	11,4	88%	27,2	33,3	6,1	4823
Colector 2	50	48	96%	56,8	57,8	1	3295
Colector 3	45	42,5	94%	44,5	45,5	1	2932
	<b>108</b>	<b>101,9</b>	<b>94%</b>		<b>Total:</b>		<b>11050</b>

Al comprar en el balance energético la energía aportada por el material plástico con la extraída por el circuito refrigerante podemos ver una diferencia del 3%. Aunque la energía aportada por el plástico sea ligeramente superior nos encontramos dentro del rango de trabajo en el cual el proceso es estable:

	Energía (J)	%
Energía aportada por el plástico	<b>371848</b>	<b>100%</b>
Energía disipada por la refrigeración	<b>360770</b>	<b>98%</b>
Diferencia	<b>-7058</b>	<b>3%</b>



A partir del análisis anterior encontramos tres anomalías en el proceso:

1. La diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida del colector 1 se encuentra fuera de rango. Para tener un proceso de trabajo totalmente estable esta diferencia no debe superar los 5°C.
2. Comparando el caudal teórico máximo que puede circular por los circuitos con el caudal real que circula encontramos que existen pérdidas

en el rendimiento de los circuitos que afectan a la capacidad de refrigeración.

3. La temperatura de expulsión de la pieza se encuentra muy por debajo del punto de solidificación del material (en nuestro caso 100°C), temperatura que viene establecida por el proveedor del material.

## 5.2 ESCENARIO TEÓRICO

De los datos extraídos del proceso actual se desarrolla un escenario teórico realizando las operaciones anteriores de forma inversa. Para ello, de la igualdad del balance energético entre el calor aportado por el material y el extraído por molde se pasa el tiempo de refrigeración que aparecía dividiendo en la Ecuación 5 multiplicando a la Ecuación 6 quedando ambas de la siguiente manera:

$$\dot{Q}_{KS} = c_p \cdot m \cdot (T_{iny} - T_{exp})$$

*Ecuación 7 - (Ecuación 4') Energía del material plástico*

$$\dot{Q}_{TM} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{ent} - T_{sal}) \cdot t_c$$

*Ecuación 8 - (Ecuación 5') Energía de la refrigeración*

La energía aportada por el material y la energía extraída a través del circuito de la refrigeración calculadas a partir de las ecuaciones anteriores serán:

$$\dot{Q}_{KS} = 367828 J$$

$$\dot{Q}_{TM} = 360770 J$$

Para establecer el escenario teórico tomamos como punto de referencia la temperatura de expulsión de 100°C determinada por el fabricante y calculamos la temperatura de expulsión teórica que tendríamos en función de la variación del tiempo de refrigeración efectiva.

Se establece una variación de 2s en 2s desde -10s hasta +10s sobre el tiempo de refrigeración efectiva actual,  $t_c'$ . Con el tiempo de refrigeración efectiva ajustado obtenemos a partir de Ecuación 8 la energía total que debe ser extraída por el circuito a partir del sumatorio de las energías que deben ser extraídas por cada uno de los colectores,  $\dot{Q}_c'$ . Para el cálculo suponemos constantes las temperaturas de entrada y salidas de los circuitos de refrigeración al igual que las propiedades termo físicas calculadas a partir de la temperatura media de cada circuito.

$$\dot{Q}_{TM}' = \dot{Q}_{c1}' + \dot{Q}_{c2}' + \dot{Q}_{c3}'$$

$$\dot{Q}_{TM}' = (\dot{V}_1 \cdot \rho_1 \cdot c_{p1} \cdot \Delta T_1 + \dot{V}_2 \cdot \rho_2 \cdot c_{p2} \cdot \Delta T_2 + \dot{V}_3 \cdot \rho_3 \cdot c_{p3} \times \Delta T_3) \cdot t_C'$$

Ecuación 9 - Energía aportada por el material dependiendo del tiempo de refrigeración efectiva

Con la nueva energía del circuito de refrigeración podemos calcular, a partir del balance de energías, la temperatura teórica a la cual la pieza será extraída del molde:

$$T_{exp}' = - \left( \frac{\dot{Q}_{KS}'}{c_p \cdot m} \right) + T_{iny}$$

Tabla 7 - Evolución de la temperatura de expulsión variando el tiempo de refrigeración

VARIACIÓN DEL TIEMPO DE ENFRIAMIENTO		-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10
Tiempo de llenado	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15
Tiempo de mantenimiento	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Tiempo de enfriamiento	14,5	4,5	6,5	8,5	10,5	12,5	14,5	16,5	18,5	20,5	22,5	24,5
Tiempo de ciclo	50	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
Otros	17,35	17,35	17,35	17,35	17,35	17,35	17,35	17,35	17,35	17,35	17,35	17,35
Tiempo de refrigeración efectiva	32,65	22,65	24,65	26,65	28,65	30,65	32,65	34,65	36,65	38,65	40,65	42,65
Temperatura expulsión fabricante	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Temperatura de expulsión teórica	70,00	130,48	119,49	108,50	97,50	86,51	75,51	64,52	53,52	42,53	31,53	20,54
Energía del material	371848											
Energía de la refrigeración	360770	250274,01	272373,26	294472,51	316571,76	338671,01	360770,26	382869,51	404968,76	427068,01	449167,26	471266,51

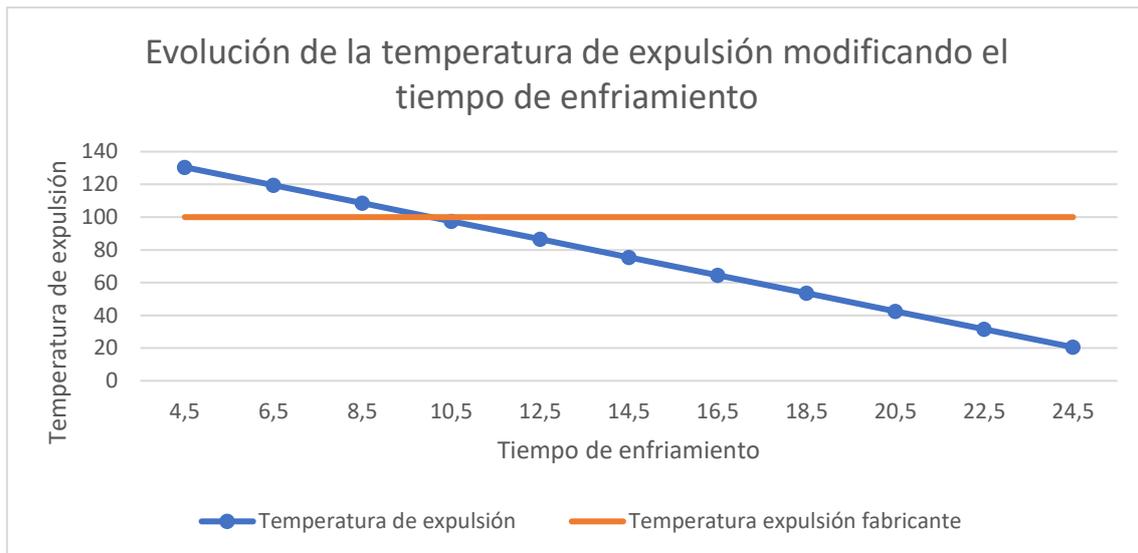
De igual manera, a partir de la igualdad anterior, podemos obtener el tiempo teórico de refrigeración efectiva necesario para extraer la pieza a una temperatura de 100°C ( $T_{exp}$ ). Despejamos el tiempo de refrigeración de la igualdad de balance de energías quedando de la siguiente manera:

$$\dot{Q}_{KS} = c_p \cdot m \cdot (T_{iny} - T_{exp})$$

$$t_{CE_{100^\circ C}} = \frac{\dot{Q}_{KS}}{\dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T} = 28,2 \text{ s}$$

A partir del tiempo de refrigeración efectiva obtenemos el tiempo de enfriamiento teórico necesario:

$$t_{C_{100^\circ C}} = 28,2 - 12 - 6,15 = 10,05 \text{ s}$$



*Ilustración 27 - Evolución de la temperatura de expulsión teórica*

Este será el tiempo objetivo para alcanzar una reducción en el tiempo de ciclo de aproximadamente 4,45 segundos por inyección.

A partir de las tres anomalías encontradas se trabajará en la aplicación práctica para conseguir reducir el tiempo de ciclo.

Primeramente, trabajamos sobre los circuitos de refrigeración del molde ya que cualquier variación en el caudal repercutirá en la capacidad de extracción del calor por lo que no sería correcto ir directamente a evaluar la reducción del tiempo de refrigeración.

En el análisis teórico hemos encontrado dos puntos que van relacionados entre sí y ambos influyen directamente en el proceso de inyección. Por un lado, la pérdida de carga en el circuito de refrigeración y por otro lado la diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida del circuito 2 del punzón siendo esta superior a 5°C. Una mejora en la circulación del caudal dentro del circuito puede llevar consigo una reducción en la diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida de la refrigeración pudiendo llevar esta diferencia dentro del rango de trabajo estable. Como primera medida el molde es pasado al taller para la realización de un preventivo y una limpieza mediante ácido de los circuitos de refrigeración por la posible corrosión y por lo tanto obstrucción de los circuitos.

Una vez el molde ha salido de taller se monta de nuevo en la máquina para comprobar si ha habido variación en la circulación del caudal que circula a través de los circuitos. Midiendo de nuevo los caudales en las entradas de los atemperadores encontramos una variación del 5% en el colector 1:

Tabla 8 – Evolución en el caudal de refrigeración

Caudal inicial			
	Teórico máximo (l/min)	Real actual (l/min)	%
Colector 1	13	11,4	88%
Colector 2	50	48	96%
Colector 3	45	42,5	94%

↓

Caudal final			
	Teórico máximo (l/min)	Real actual (l/min)	%
Colector 1	13	12,1	93%
Colector 2	50	48	96%
Colector 3	45	42,5	94%

Una vez comprobada la variación en el caudal del colector 1 pasamos a verificar si ha habido variación entre las temperaturas de entrada y salida de los colectores viendo que la temperatura media en la salida del colector 1 se ha visto reducida debido al aumento de caudal pasando de 33,3°C a 32,8°C. También comprobamos los circuitos de los colectores 2 y 3 en los cuales vemos una variación en la temperatura de salida del colector 2 que ha pasado de 57,8°C a 58°C, mientras que en el circuito del colector 3 no ha habido variación. Además, se toma temperaturas en el punto central de la pieza justo después de la apertura del molde, 66,3°C. Valor que se toma como nueva temperatura de expulsión.

Recalculando, introduciendo los datos obtenidos en las primeras mediciones, el tiempo objetivo a alcanzar de refrigeración efectiva varía debido a la mejora en la circulación del caudal, situándose de esta manera en 26,9 segundos siendo el tiempo de refrigeración 8,75s.

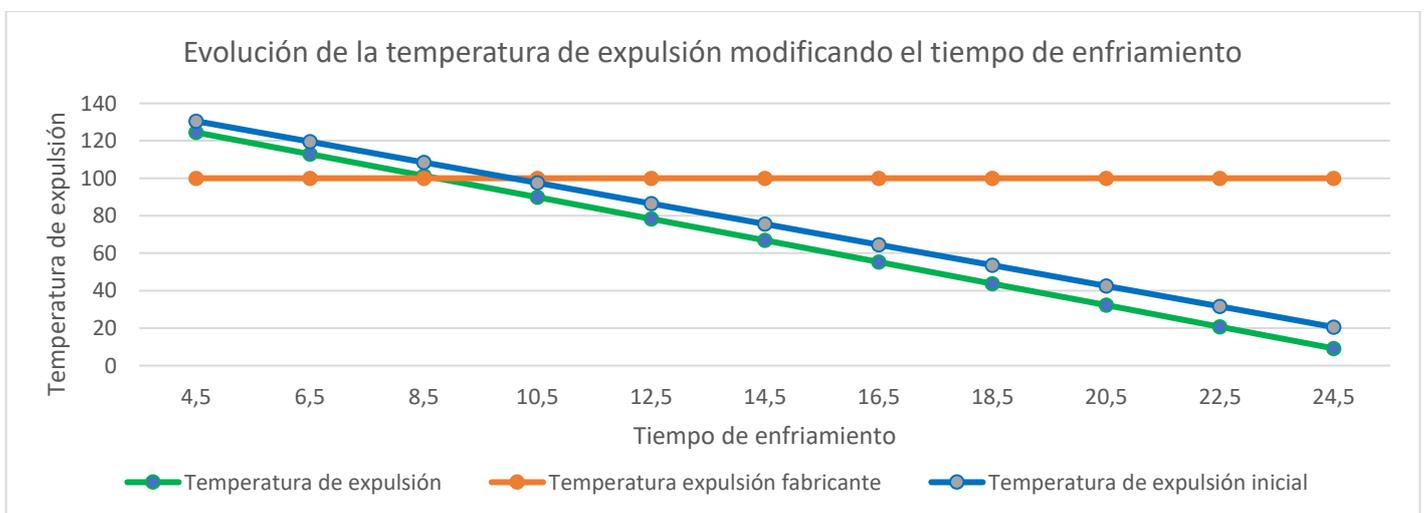


Ilustración 28 - Evolución de la temperatura de expulsión objetivo

## 5.2.1 AJUSTE DEL TIEMPO DE CICLO

Partiendo del nuevo tiempo objetivo de refrigeración efectiva establecido comenzamos con los ajustes en el ciclo de inyección:

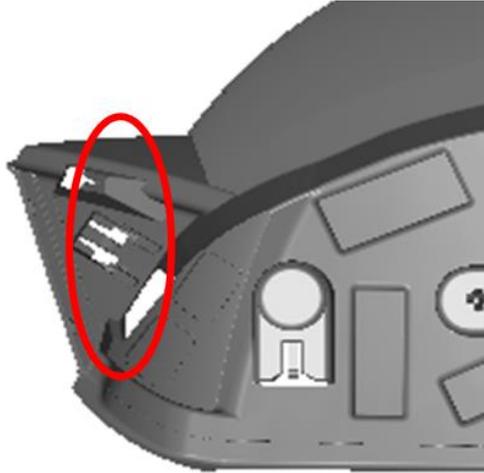
- I. **1ª Reducción del tiempo de enfriamiento.** Reducimos el tiempo de refrigeración de 14,5s a 12,5s reduciendo así el tiempo de ciclo en 2s. En este paso tomamos de nuevo la temperatura en el momento de expulsión de la pieza, siendo ahora de 77,5°C.
- II. **2ª Reducción del tiempo de enfriamiento.** Reducimos de nuevo el tiempo de refrigeración del ciclo de 12,5s a 11s pasando del tiempo de ciclo que ahora se encontraba en 48s a 46,5s. Al tomar temperaturas en el momento de expulsión de la pieza, ésta ahora toma el valor de 86,3°C.
- III. **3ª Reducción del tiempo de enfriamiento.** Al aplicar una tercera reducción en el tiempo de enfriamiento pasamos de 11s a 9s, siendo ahora el tiempo de ciclo de 44,5s con una temperatura de expulsión de 97°C. En este punto nos encontramos con una inestabilidad en el ciclo apareciendo repetitivamente el defecto de rechupe en cara vista debido a una refrigeración no uniforme. El colector 1 continúa trabajando fuera del rango de trabajo para un proceso estable.



*Ilustración 29 - Inserto con zona cara vista remarcada*

- IV. **1ª Reducción de temperatura en el atemperador del colector 2.** Rebajamos la temperatura de entrada al molde en el colector 2 en 5°C. Se toman de nuevo temperaturas en las salidas de los circuitos y se verifica la pieza en cara vista. Las nuevas temperaturas en la salida de los circuitos del 1 al 3 son 32,4°C, 53,1°C y 45,4°C. A pesar de haberse mejorado el aspecto del rechupe en cara vista, no se ha eliminado y el circuito 1 continúa trabajando fuera de rango.

- V. **2ª Reducción de temperatura en el atemperador del colector 2.** Se reduce la temperatura de entrada al circuito 2 en el atemperador hasta alcanzar los 46°C. Al tomar temperaturas en este punto a la salida de los circuitos encontramos que los 3 se encuentran trabajando dentro de rango, con una diferencia entre la entrada y la salida en el circuito 1 de 5°C. Nos encontramos en el límite de la temperatura de expulsión siendo esta de 99,3°C, pero continúa apareciendo ligeramente el rechupe además de una falta de material en los extremos de la pieza.



*Ilustración 30 - Falta de material en el alojamiento de los tornillos*

- VI. **Aumento del tiempo de llenado.** Se aumenta el tiempo de inyección en 0,05s debido al defecto que aparece en los extremos de la pieza. El tiempo de ciclo se sitúa en este punto en 44,55s.
- VII. **Aumento del tiempo de enfriamiento.** El defecto del rechupe sigue apareciendo ligeramente en la zona central de la pieza. Debido a que aparece en una zona que queda expuesta una vez se ensambla en el vehículo, es un defecto que se debe eliminar. En este punto se aumenta 0,5s segundos el tiempo de enfriamiento, incrementando de esta manera la uniformidad con la que se enfría la pieza, eliminando así el defecto por rechupe. Debido a esta variación en el tiempo de enfriamiento, la temperatura de expulsión de la pieza y el tiempo total del ciclo de inyección se ven afectados pasando a ser de 95,4°C y 44,95s.
- VIII. **Reducción del tiempo de carga.** En este momento en el cual los defectos han sido eliminados completamente de la pieza inyectada y se ha llegado al objetivo planteado, aparece una anomalía en la máquina por la que parece que el tiempo de carga interfiere con el de apertura de la máquina lo que hace que a pesar de que el tiempo de enfriamiento establecido en la máquina sea de 9.5s, realmente estaba siendo de 9.95s. Se realiza como prueba la reducción en el tiempo de

carga del cilindro aumentando las revoluciones del husillo de 75 mm/s a 85 mm/s reduciéndolo este tiempo de 7.4s a 6.5s; además se reduce el tiempo en el retardo de carga de material. Esta variación podría afectar tanto a la temperatura del material, debido a la reducción del tiempo de calentamiento pudiendo degradarse, como al llenado de la pieza en el molde. Al variar los parámetros se evita así la interferencia con la apertura de la máquina alcanzando un tiempo de ciclo de **44.5s**.

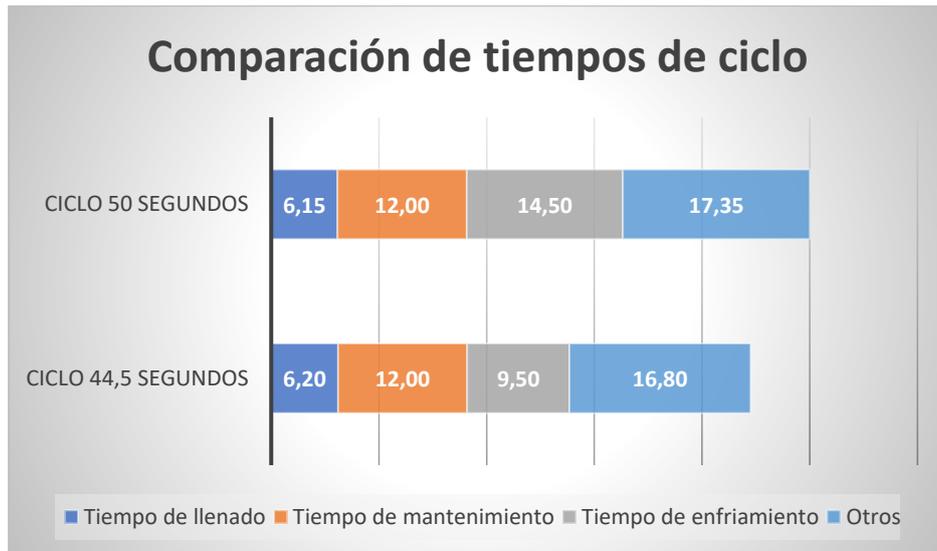


Ilustración 31 – Comparación de tiempos de ciclo

## 5.2.2 CAMBIO DE PROCESO DE POST INYECCIÓN

Con la reducción obtenida finalmente de 5,5s en el tiempo de ciclo, es necesario revisar la saturación de los operarios en el proceso de montaje en línea. En el escenario escogido se planteaba la introducción de un cuarto operario para balancear la carga de trabajo en el proceso de montaje en línea.

Al comprobar la saturación de los 3 operarios con las operaciones que se realizaban al inicio con el tiempo de ciclo actual comprobamos que los operarios 1 y 2 se encuentran con una carga de trabajo superior al 100% y el operario 3 con una carga de trabajo del 96%. En ambos casos se supera el máximo de carga admisible.

De acuerdo con el planteamiento escogido se introduce un cuarto operario para balancear la carga del montaje de componentes. Previamente se analiza la carga que supone cada una de las operaciones y se asignan a cada operario de forma que se reduzca la posibilidad de crear un cuello de botella.

El primer paso para delimitar las operaciones a realizar por cada operario es asignar aquellas que únicamente pueden llevarse a cabo en una estación concreta, como por ejemplo el verificado de la pieza se debe realizar como primera operación por los

operarios 1 y 2 antes de montar componentes, o el embalado que únicamente se puede hacer por el último operario una vez la pieza está terminada. El segundo paso consiste en repartir la carga restante de las operaciones de forma equitativa entre los cuatro operarios.

Una vez establecida la carga para cada operario, el siguiente paso será valorar la factibilidad de añadir un componente más al montaje a pie de inyección. Anteriormente en el apartado ALTERNATIVA NÚMERO 1 se había descartado la posibilidad de transferir el montaje de un componente desde el proceso de montaje final al montaje de componentes en línea debido a que se elevaba la carga del tercer operario por encima del 100% y no era posible re balancear las operaciones para que la saturación de los tres operarios quedase dentro del máximo admisible.

Llegados a este punto, con la carga de trabajo establecida para cada operario se vuelve a valorar la factibilidad del traspaso ya que en el cómputo global entre los 3 operarios quedan 23 segundos hasta que alcancen el límite de saturación del 95%. Para comprobar la factibilidad del traspaso se plantea primeramente un escenario teórico en el cual se re balancean de nuevo las operaciones y a partir del cual vemos que teóricamente si es posible:

- Operaciones realizadas por los operarios 1 y 2:

*Tabla 9 – Operaciones finales de los operarios 1 y 2*

Operación		Operario		Tiempo	Carga de trabajo
		Antes	Después		
Grab	Insert	1	1	3	3%
Check	Insert	1	1	4	4%
Place	Insert	1	1	2	2%
Assembly	Round foams	1	1	20	22%
Assembly	Long foam	Montajes	1	17	19%
Grab	Insert	1	1	1	1%
Place	Insert	1	1	1	1%
Assembly	Wiring	1	1	15	17%
Assembly	Light	1	1	17	19%
Grab	Insert	1	1	2	2%
Place	Insert	1	1	2	2%

Total	94%
-------	-----

- Operaciones realizadas por el operario 3:

Tabla 10 - Operaciones finales del operario 3

Operación		Operario		Tiempo	Carga de trabajo
		Antes	Después		
Grab	Insert	3	3	2	4%
Place	Insert	3	3	3	7%
Assembly	Clips	1	3	6	13%
Assembly	Screws	1	3	21	47%
Grab	Insert	3	3	2	4%
Place	Insert	3	3	2	4%

Total	81%
-------	-----

- Operaciones realizadas por el operario 4:

Tabla 11 - Operaciones finales del operario 4

Operación		Operario		Tiempo	Carga de trabajo
		Antes	Después		
Grab	Insert	3	4	2	4%
Place	Insert	3	4	4	9%
Assembly	Nuts	1	4	6	13%
Assembly	Light nuts	3	4	16	36%
Grab	Insert	3	4	3	7%
Package	Insert	3	4	5	11%

Total	81%
-------	-----

Para poder asegurar el paso de componentes se debe realizar previamente una prueba experimental en el montaje de componentes acorde con el escenario teórico planteado. Para ello se forman primeramente en el montaje de la espuma a los operarios que estarán presentes en la prueba. La formación se realiza cediendo los operarios al área de montajes para que monten espumas durante dos días. Una vez la formación está completada y los operarios colocan las espumas dentro del tiempo medio establecido, se prepara la prueba en máquina redistribuyendo las operaciones. En la prueba se vuelve a realizar un estudio de métodos y tiempos para verificar que la carga de trabajo se encuentra por debajo del 95% en los tres operarios.

Los tiempos obtenidos a partir del estudio son transferidos a una tabla en la cual serán evaluados y se determinará la saturación de los operarios.

De la prueba junto con el estudio de métodos y tiempos hemos verificado la factibilidad del traspaso del componente siempre y cuando las operaciones repetitivas de reposición de componentes de los operarios 1 y 2 sea realizadas por los operarios 3 y 4 ya que cuentan con una carga de trabajo considerablemente menor que posibilita poder recuperar piezas en caso de acumular.

De acuerdo con el nuevo proceso de montaje en línea se define una distribución de los puestos de trabajo:

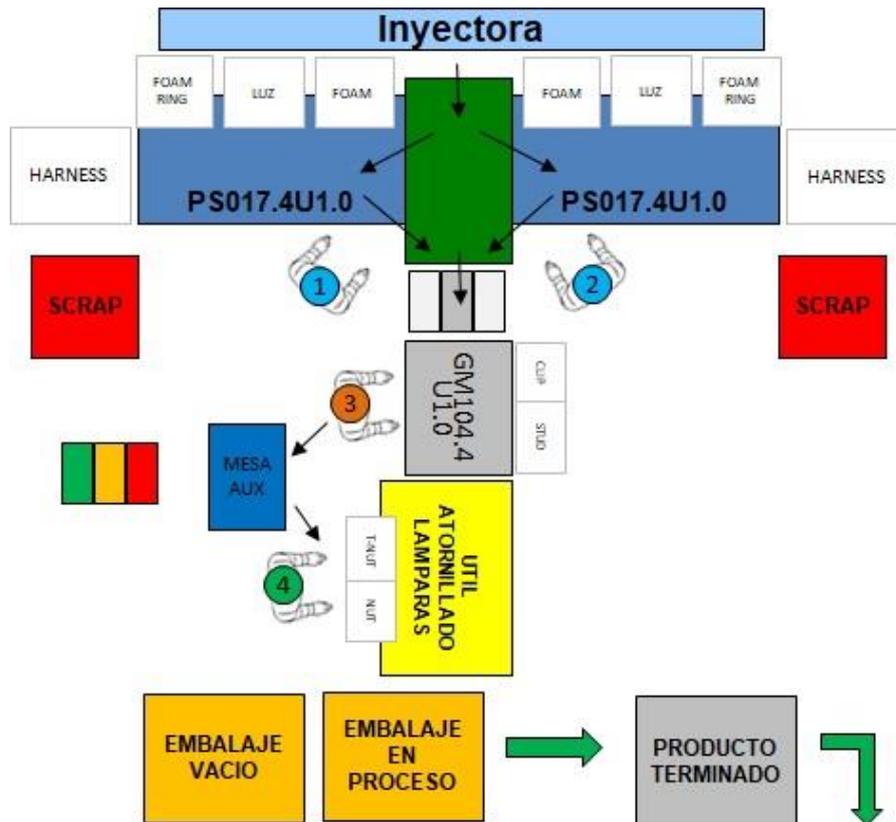


Ilustración 32 - Distribución del puesto de trabajo para 4 operarios

## 6. ANÁLISIS ECONÓMICO

Con el análisis económico se pretende reflejar los costes de proceso derivados de la producción en los diferentes escenarios en los cuales ha habido variaciones, comenzando por el inicial previo a las modificaciones de proceso hasta analizar el escenario final una vez los cambios han quedado establecidos.

Inicialmente el proyecto se encuentra en producción con un volumen anual de 110.000 coches al año y ocupando 1527 hora de máquina de las 1600 que se tienen asignadas al proyecto. En este punto el precio por pieza debido a los costes de proceso del área de inyección y montajes se sitúa en 6,175€/ pieza. Con una facturación actual de 679.250€ de los cuales el 18% se traduce en beneficio.

Al realizar la modificación y reducir el tiempo de ciclo, de debe añadir un operario a las operaciones de montaje en línea, por lo que el coste de proceso se eleva a 6,959€/ pieza. Debido a esto se observa un cambio en la facturación con un precio por pieza ligeramente más alto siendo la facturación de 765.490€ por lo que el porcentaje de beneficio igual al 18% al inicio del trabajo se ve reducido a un 4,7%. En este punto la mejora de proceso no se puede considerar satisfactoria ya que la empresa está dejando de ganar dinero.

Al realizar el traspaso de componentes desde montajes a inyección, se consigue una variación importante en cuanto a los costes de proceso. Gracias a este cambio se ha conseguido elevar la saturación del operario de inyección aumentando la eficiencia del proceso; por otro lado, se reduce el número de componentes a montar en el proceso de montaje final de la pieza suponiendo una disminución importante en cuanto a horas de trabajo necesarias para la producción del total de piezas requeridas. De esta manera con el total de las mejoras aplicadas en los dos procesos se establece un coste de proceso por pieza de 5,698€.

Finalmente, la facturación realizada por la empresa continuará siendo los 679.250€ pero al aumentar la eficiencia de proceso y reducir el coste por pieza, el beneficio obtenido ha pasado a ser del 25.72% con 174.735€ aproximadamente al año. De esta manera se ha conseguido aumentar el margen de beneficio para la empresa respecto al beneficio inicial en 52.470€/año durante la vida de producción del proyecto sin tener en cuenta la depreciación anual del valor de venta.

Tabla 12 - Análisis económico

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Coches por año	110.000	110.000	110.000
Coste de proceso	6,175 €	6,959 €	5,698 €
OP (Operational Profit)	18%	4,7%	25,72%
Facturación	679.250 €	679.250 €	679.250 €
Beneficio	122.265 €	36.025 €	174.735 €

## 7. PRESUPUESTO

En este apartado se detallarán los costes asociados al estudio realizado en el presente Trabajo de Final de Grado. Para ello, se desglosarán teniendo en cuenta los costes directos e indirectos derivados del uso de materiales, mano de obra, recursos informáticos y la amortización del equipo utilizado.

Previamente se detallan la amortización del equipo empleado, así como el coste de personal.

### 7.1 Amortizaciones del equipo empleado

A continuación, se detallan los costes relacionados con el uso de aparatos informáticos utilizado para la realización de este Trabajo: hardware y software, en los cuales se ha considerado una amortización en 5 años. También se detallan los costes derivados de la amortización de la maquinaria empleada para la producción de este proyecto: máquina, utillajes y descalcificadora.

Los costes totales derivados de la amortización del material informático ascienden a un total de 177,63€ en los 4 meses que se lleva a cabo.

Tabla 13 - Amortización del material informático

EQUIPAMIENTO INFORMÁTICO			
HARWARE	Precio	Cantidad	Coste amortización
Portátil HP	549,95 €	1	36,66 €
Ratón inalámbrico Logitech	12,99 €	1	0,87 €
Monitor HP 32s	249,00 €	1	16,60 €
Teléfono móvil	12,00 €	1	0,80 €
Impresora multifunción - RICOH Aficio MP C3502	1.512,50 €	1	100,83 €

SOFTWARE	Precio	Cantidad	Coste amortización
Licencia Windows 10 Profesional	259,00 €	1	17,27 €
Licencia Paquete Office 2016	69,00 €	1	4,60 €
<b>DURACIÓN TFG (4 MESES)</b>	<b>2.664,44 €</b>	<b>TOTAL</b>	<b>177,63 €</b>

El coste total asociado a la amortización de los equipos empleados para la producción del inserto en función de las horas empleadas es de 2067,95€.

Tabla 14 - Amortización del equipamiento

EQUIPAMIENTO DE PRODUCCIÓN					
Concepto	Precio	Años de amortización	Coste amortización/hora	Horas empleadas	Costes amortización totales
Máquina	950.000,00 €	7	21,42 €	96	2.056,28 €
Utillajes	7.320,00 €	5	0,23 €	36	8,32 €
Descalcificadora de circuitos	6.200,00 €	7	0,14 €	24	3,35 €
DURACIÓN TFG (4 MESES)				TOTAL	2.067,95 €

## 7.2 Tasas horarias del personal de planta

En este apartado se detallan los honorarios percibidos por el personal involucrado en la realización del Trabajo. A partir de los cuales nos ayudaremos en el cálculo de los costes totales directos e indirectos presentados en los siguientes apartados.

Tabla 15 - Salario del personal de planta

Concepto	Salario	Coste de seguridad social (35%)	Coste total anual	Coste total (€/hora)
Ingeniero de procesos	2.216,53 €	775,79 €	35.907,79 €	18,17 €
Técnico de procesos	1.822,00 €	637,70 €	29.516,40 €	15,61 €
Operario	1.700,00 €	595,00 €	27.540,00 €	14,34 €
Ingeniero en prácticas	840,00 €		13.608,00 €	4,77 €

## 7.3 Materiales fungibles

Considerando como fungibles aquellos bienes y materiales que se desgastan, se deterioran o se destruyen con su uso, se contemplan en este apartado los costes del material inventariable fungible consumido en el presente Trabajo de Final de Grado.

Tabla 16 – Materiales fungibles

MATERIALES FUNGIBLES	
Concepto	Coste
Materia prima	3.537,28 €
Folios	25,00 €
Tóner	115,08 €
Material de papelería	32,49 €
<b>TOTAL</b>	<b>3.709,85 €</b>

## 7.4 Costes indirectos

Son aquellos costes que afectan al proceso productivo de los bienes de una empresa, no pudiendo asignarse de manera directa a cada uno de los productos.

El criterio de imputación establecido en la empresa en la cual se ha desarrollado el presente Trabajo de Final de Grado es de un 25% sobre los costes directos totales. El total de costes directos queda detallado en la Tabla 17.

## 7.5 Coste total del Trabajo

A continuación, se detalla un resumen del total de presupuesto empleado en el desarrollo del presente Trabajo de Final de Grado. Además de los costes totales directos y de los totales indirectos, los cuales se establecen como el 25% de los costes totales directos, se contempla el beneficio industrial obtenido por la empresa siendo este del 6% y el impuesto sobre el valor añadido del 21%. Se aplica el beneficio industrial sobre el coste total del trabajo siendo el coste se hubiera dado si ésta mejora de proceso se hubiera subcontratado. Por otro lado, se aplica un IVA del 21% como un impuesto indirecto sobre la compra y la venta de bienes y servicios realizados por la empresa.

Tabla 17 - Costes totales del Trabajo de Final de Grado

PRESUPUESTO TOTAL	
CONCEPTO	COSTE
Personal	4.292,17 €
Materiales fungibles	3.079,85 €
Equipamiento (amortización)	2.431,53 €
<b>TOTAL DE COSTES DIRECTOS</b>	<b>9.803,55 €</b>
<b>COSTES INDIRECTOS (25% de los costes directos)</b>	<b>2.450,89 €</b>
<b>BENEFICIO INDUSTRIAL (6%)</b>	<b>735,27 €</b>
<b>IVA (21%)</b>	<b>2.573,43 €</b>
<b>COSTE TOTAL DEL TRABAJO</b>	<b>15.563,14 €</b>

## 8. CONCLUSIONES

En el presente Trabajo de Final de Grado se ha tratado la mejora del proceso productivo en el área de inyección de plásticos del inserto del alerón del Citroën C3 Aircross en términos de reducción de tiempos de fabricación y costes de producción. Para llevarlo a cabo se plantearon una serie de objetivos parciales que sirvieran como pilares base durante el transcurso del trabajo.

Como primer objetivo parcial se establece analizar los cuellos de botella dentro del proceso productivo seleccionado para el estudio. Para ello primeramente es necesario conocer el proceso de fabricación completo mediante el cual se transforma la materia prima en un producto terminado, desde la transformación de la materia prima en la inyectora hasta el montaje de componentes a pie de línea. Una vez este proceso ha sido comprendido en su totalidad hemos realizado un estudio de métodos y tiempos a partir del cual se han determinado los puntos restrictivos del proceso. Se determina que el punto restrictivo del proceso como generalmente debe de ser la máquina al ser el elemento dentro del proceso de producción con un mayor coste y amortizaciones asociados. Gracias al análisis del estudio de métodos y tiempos y a la comprensión del proceso productivo se ha podido consolidar la consecución del primer objetivo parcial.

Partiendo de la situación en la cual se encontraba el proyecto con un tiempo de ciclo de 50 segundos y una saturación de los tres operarios requeridos para el proceso situada entre el 86 y el 93%. Se plantean en el segundo objetivo diferentes alternativas para llevar a cabo la mejora en el proceso seleccionando aquella que pudiera aportar un mejor resultado. Se plantearon dos alternativas, la segunda con dos escenarios posibles. La primera consistía en elevar la saturación del tercer operario adicionando un componente al montaje en línea transfiriéndolo del montaje final, pero fue descartada ya que la saturación quedaba por encima del máximo admisible. La segunda alternativa consistía directamente en reducir el tiempo de ciclo de la máquina pudiendo darse dos escenarios al elevar la saturación de los operarios por encima del límite admisible, siendo para el escenario uno la transferencia de componentes del montaje a pie de línea al proceso de montaje final, o la introducción de un cuarto operario que permitiera balancear las cargas de trabajo. Se selecciona el escenario dos de la segunda alternativa teniendo que introducir un cuarto operario cuando se realizase la reducción en el tiempo de ciclo.

Para llevar a cabo la alternativa escogida de reducción del tiempo de ciclo. Se toman los tiempos iniciales del ciclo de inyección en la máquina, se miden los caudales que circulan por cada uno de los circuitos y sus temperaturas de entrada y salida y se mide la temperatura de la pieza en la zona central. A partir de aquí hemos desarrollado un estudio de refrigeración para establecer el tiempo de ciclo objetivo que queremos alcanzar, siendo éste de 44.2 segundos. Al tratarse de un estudio teórico, la metodología

empleada para la consecución del tercer objetivo es el método empírico de prueba y error modificando los parámetros de tiempos de refrigeración y tomando temperaturas en la pieza en el momento de la apertura del molde y en las salidas de los circuitos de refrigeración. De esta manera ajustamos el tiempo de ciclo hasta encontrarnos con restricciones técnicas que interferían con el ciclo de apertura del molde y requerían modificar otros parámetros de la máquina, en este caso la velocidad de retroceso del husillo reduciendo el tiempo de carga del material. De esta manera hemos pasado de un tiempo de ciclo de 50 segundos a 44.5 segundos. Es en este punto cuando introducimos el cuarto operario para balancear las cargas de trabajo. Este paso contará con dos fases: en la primera se reparten las cargas de trabajo arreglo a los componentes que se montan al inicio de manera equitativa entre los cuatro operarios, en la segunda se analiza mediante un estudio de métodos y tiempos la transferencia de un componente para elevar la saturación de los operarios redistribuyendo de nuevo las operaciones entre los cuatro. Finalmente, el cumplimiento del tercer objetivo es alcanzado una vez hemos superado todas las fases que nos han llevado al resultado de una reducción del tiempo de ciclo de 5.5 segundos manteniendo la saturación al introducir un cuarto operario gracias al adicionar un componente al montaje en línea. Es por esto por lo que podemos considerar completado el tercer objetivo parcial planteado al inicio del proyecto.

El último objetivo desde el punto de vista económico se establece para consolidar la consecución del objetivo global establecido al inicio de este trabajo de final de grado. Con un volumen anual de 110.000 coches, el coste de proceso era de 6,175€/pieza y una facturación de 679.250 €. Una vez hemos realizado el cambio de ciclo y se ha añadido el cuarto operario, el coste de proceso es de 6,959 €/pieza con una facturación total de 679.250€, lo que da una reducción en el beneficio obtenido pasando de un 18 a un 4,7%. Al realizar la transferencia del componente de montajes a pie de línea, el coste de proceso se reduce a 5,698 €/pieza. Manteniendo la facturación y gracias a la mejora de proceso interna, el beneficio total obtenido pasa de un 18% de beneficio declarado a un 25.72% con 174.735€. De esta manera la mejora de proceso final obtenida supone un beneficio de 52.470€ al año.

Finalmente podemos concluir de manera satisfactoria la consecución de los diferentes objetivos parciales planteados para poder llevar a cabo el objetivo global establecido.

## 8.1 Líneas futuras de trabajo

Una vez terminado el análisis del presente Trabajo, observamos que uno de los mayores beneficios que se pueden aportar a la compañía se basan en la reducción de los costes de proceso a partir de un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles en la planta como es la maquinaria o la mano de obra directa.

Quedando fuera del alcance del trabajo, no se ha considerado la repercusión en el área productiva al aumentar el proceso productivo en un operario más. Por lo que una línea de estudio sería la comprensión de las repercusiones en el área productiva derivadas del aumento de los requerimientos de mano de obra directa pudiendo desarrollar en consecuencia un proyecto para la estandarización de los procesos productivos o el estudio de factores de corrección que permitan la correcta valoración de la carga de mano de obra directa necesaria en el área de inyección que compense la fluctuación existente entre proyectos en el momento de la fabricación siendo que en según qué situaciones las necesidades de producción indican una falta de mano de obra directa, mientras que en otros momentos la mano de obra es excesiva provocando pérdidas en el aprovechamiento de la mano de obra directa.



## PLIEGO DE CONIDIONES

1.	DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL DOCUMENTO.....	64
1.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	64
2.	ECM – Engineering change managemente .....	64
2.1.	Objeto del ECM .....	64
2.2.	Alcance del ECM.....	64
2.3.	Proceso de aprobación del ECM .....	64
2.4.	Implementación del ECM .....	66

## 1. DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL DOCUMENTO

El presente documento tiene por objeto la regulación en la ejecución del Trabajo de Final de Grado estableciendo a niveles técnicos y administrativos los procedimientos necesarios para llevar a cabo un cambio de proceso.

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto desarrolla la mejora de un proceso productivo en el área de inyección de plásticos en una empresa con actividad en el sector de la automoción. En el presente Pliego de condiciones serán redactados los procedimientos internos a seguir para llevar a cabo un cambio de proceso como el detallado en la memoria del Trabajo.

## 2. ECM – Engineering change managemente

### 2.1. Objeto del ECM

El objeto de este sistema se centra en el seguimiento de las modificaciones en el producto y/o proceso junto con el impacto que pueden tener en el sistema interno. Desde la propuesta o la petición del cambio hasta validación y la implementación de este.

### 2.2. Alcance del ECM

Afecta a todas las modificaciones internas a implementar en producto y/o proceso después de haber iniciado la producción en serie dentro de la planta. Para el desarrollo es necesario un seguimiento hasta conseguir el aprobado para llevar a delante el ECM.

### 2.3. Proceso de aprobación del ECM

Un cambio de proceso interno puede ser iniciado por:

- El departamento de Compras relacionados con proveedores componentes o materia prima que no den problemas de calidad.
- El departamento de Producción / Industrialización para llevar a cabo una mejora en el rendimiento o los costes de producto / proceso.

- Por el departamento de pintura para la aplicación de nuevas fórmulas.
- Ingeniería para la mejora en el rendimiento o en los costes de un producto.
- Por los managers del proyecto o el departamento de Value Estimating para mejorar el rendimiento o los costes del producto / proceso.

Tan pronto como la solicitud de cambio es enviada por el solicitante, comienza el flujo de trabajo para dar viabilidad, calcular costes y aprobar la propuesta del cambio. Todas las tareas se incluyen en el diagrama de flujo de trabajo (workflow) con los responsables de las tareas a realizar.

Para llevar acabo los cambios no financiados por el Cliente, la aprobación económica interna debe realizarse mediante:

- Cambios de producto: El Gerente de Planta de la planta responsable de la venta del producto.
- Cambios en el proceso: el Gerente de planta en la cual se fabrica el producto.

Si hay más de una planta SRG involucrada, entonces se debe enviar el ECM a todas ellas y obtener el acuerdo de todas las plantas afectadas. La propuesta autorizada se envía para que el resto de los gerentes afectados (incluidos todos los gerentes de planta de las plantas afectadas) envíen información por parte del sistema, y estas personas tienen 48 horas para enviar comentarios si es necesario.

Si la propuesta requiere la autorización del cliente, el Administrador de programas asignado comunica al cliente el cambio utilizando los formatos del cliente (por ejemplo, SREA para Ford y JLR, Fiche FETE para PSA, Fiche F1 para RSA, ...). Si el comité determina que el ECM debe cotizarse al cliente, el Manager de la Planta informa al departamento comercial para iniciar el proceso de cotización.

Para las propuestas que no requieren la autorización del cliente, la autorización interna es suficiente para el lanzamiento y es gestionada por el ingeniero del proyecto para las modificaciones sin proceso y por Industrialización para las modificaciones del proceso.

Para las propuestas que requieren el pago del cliente y / o la aprobación técnica, la autorización es la aprobación de la oferta o una autorización técnica (para propuestas sin costes). Con esta aprobación, el departamento comercial realiza una nominación, se designa un equipo de proyecto y se implementa el ECM.

## 2.4. Implementación del ECM

El ECM es administrado por el Departamento responsable (Ingeniería básica para modificación de producto / materia prima o componentes, departamento de color para modificaciones de pintura y proceso / industrialización para modificaciones de proceso)

Aquí se presenta un workflow detallado en las distintas fases que debe seguir un ECM hasta llegar a la implementación:

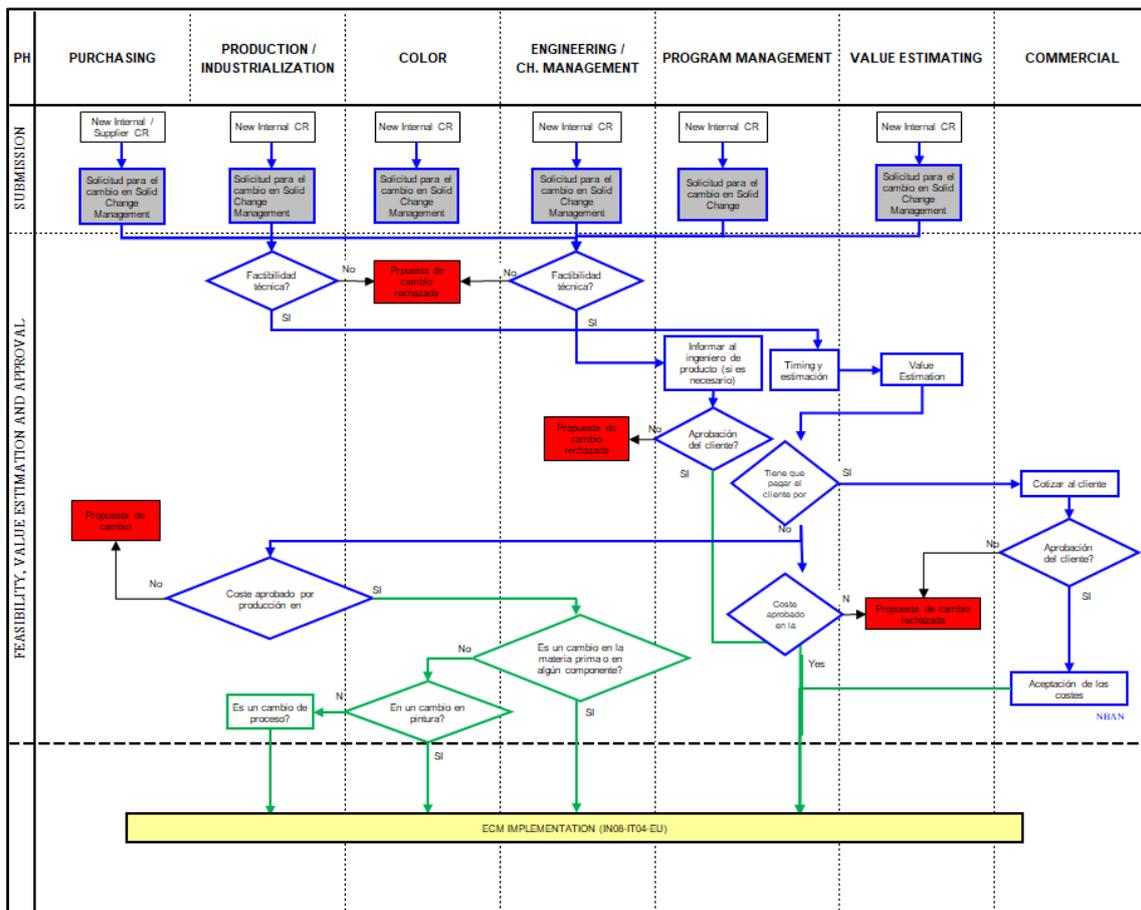


Ilustración 33 - Workflw de un ECM interno

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Maribel Beltrán, Antonio Marcilla (2015). "Tema 5. Inyección". Apuntes de la asignatura "Tecnología de Polímeros" de la Titulación de Ingeniero Químico, Universidad de Alicante, España.
- [2] Manuel Caballero Águila (2010). "Manual de inyección de plásticos (Ciclo de operaciones de transformación de plástico y caucho)".
- [3] Gerog Menges, Walter Michaeli, Paul Mohren (2000). How to Make Injection Molds. [Traducido por Rolf J Kahl y Raymond Brown] – Munich: Hanser. ISBN 3-446-21256-6.
- [4] D.Menges, D. Mohren (1975). Moldes para inyección de plástico. ISBN 84-252-0862-9.
- [5] D. Bryce (1998). Plastic injection molding. Mold design and construction fundamental. ISBN 0-87263-495-7.
- [6] Pablo Vargas (2017). La inyección de plástico: una historia de éxito. Recuperado de <https://www.privarsa.com.mx/la-inyeccion-plastico-una-historia-exito/>
- [7] Juan Antonio Castillo Garijo (2007). Curso de inyección de termoplásticos.
- [8] Santiago González (2017). Qué es el moldeo por inyección de plástico. Rescatado de <https://www.privarsa.com.mx/moldeo-por-inyeccion-de-plastico/>
- [9] Simona Maccarrone (2018). "Four reasons why plastic is used in car manufacturing". Rescatado de <https://matmatch.com/blog/four-reasons-why-plastic-is-used-in-car-manufacturing/>
- [10] Szeteiová, K. (2010). Automotive materials plastics in automotive markets today. Institute of Production Technologies, Machine Technologies and Materials, Faculty of Material Science and Technology in Trnava, Slovak University of Technology Bratislava.
- [11] Park, Hong-Seok & Dang, Xuan-Phuong. (2012). Design and simulation-based optimization of cooling channels for plastic injection mold. DOI 10.5772/32730.
- [12] Matias Riquelme (2017). Diferencia entre costos directos e indirectos. Recuperado de [https://www.webyempresas.com/diferencia-entre-costos-directos-e-indirectos/#Que\\_son\\_los\\_costos\\_directos](https://www.webyempresas.com/diferencia-entre-costos-directos-e-indirectos/#Que_son_los_costos_directos)
- [13] Autocasión (2016). Los plásticos en el automóvil. Recuperado de <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/los-plasticos-en-el-automovil>

- [14] El Ciclo de inyección. Recuperado de <http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/subpaginas/Moldes/CICLOdeINYECCION.htm>
- [15] Bryan Salazar, Colombia. Ingeniería de métodos, selección del trabajo para el estudio. Recuperado de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/ingenier%C3%ADa-de-metodos/selecci%C3%B3n-del-trabajo-para-el-estudio/>
- [16] Mariano, Argentina (2012). Tecnología de los plásticos. Recuperado de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/05/asa.html>