

**(10-012) - Study and proposals for improving the finish of painted plastic parts in an auxiliary industry of the automotive sector.**

Martinez Herrero, Celia <sup>1</sup>; Arnal Arnal, Jose Miguel <sup>1</sup>; Garcia Fayos, Beatriz <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universitat Politècnica de València

The company that is the object of this work is dedicated to the production of plastic parts by means of an injection process, followed by a painting process for those that require it, and a final assembly process. Significant rejection rates have been recorded on the part of the customer due to the quality of the painting of the parts. For this reason, a study was made of the production process of the parts from the moment they are injected to the moment they are sent to the customer, focusing the analysis on the painting process and their subsequent curing, and on the variables that affect them. Once the analysis has been carried out, changes have been proposed in the process that have enabled the degree of curing of the parts and the final finish of the parts to be improved, reducing customer complaints and the additional economic and production costs that these defects entail for the company.

Keywords: Curing; defect; injection; painting

**Estudio y propuestas de mejora del acabado de piezas plásticas pintadas en una industria auxiliar del sector del automóvil**

La empresa objeto de este trabajo se dedica a la producción de piezas plásticas mediante un proceso de inyección, seguido de un proceso de pintura las que lo requieran, y un proceso final de montaje o ensamblaje. Se han registrado importantes tasas de rechazo por parte del cliente debido a la calidad del pintado de las piezas. Por ello, se realiza un estudio del proceso productivo de las piezas desde el momento que son inyectadas hasta el momento que son expedidas al cliente, centrandó el análisis en el proceso de pintura y su curado posterior, y en las variables que les afectan. Una vez realizado el análisis, se han propuesto cambios en el proceso que han permitido mejorar el grado de curado de las piezas, y el acabado final de las piezas reduciendo las reclamaciones por parte de cliente y los costes tanto económicos como productivos adicionales que estos defectos suponen a la empresa.

Palabras clave: Curado; defecto; inyección; pintura

Correspondencia: beagarfa@iqn.upv.es



©2024 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introducción

La empresa objeto del estudio se dedica a la fabricación de piezas plásticas pintadas para el interior del automóvil, las cuales se obtienen a través de un proceso de inyección plástica seguida de un proceso de pintura para aquellas que lo requieran y el proceso final de montaje o ensamblaje. Se han registrado importantes tasas de rechazo por parte del cliente debido a la calidad del pintado de las piezas. Por ello, con el fin de reducir las tasas de rechazo, la empresa ha promovido la realización de un estudio del proceso productivo de las piezas, desde que son inyectadas hasta que son expedidas al cliente, centrando el análisis en el proceso de pintura y su curado posterior, así como en las variables que les afectan.

Una vez realizado el análisis del proceso productivo se proponen modificaciones del proceso, cuyos resultados han permitido mejorar el grado de curado de las piezas y por tanto su acabado final, reduciendo de esta manera las reclamaciones por parte de cliente y por ende los costes tanto económicos como productivos adicionales que estos defectos suponen para la empresa objeto.

### 1.1 Antecedentes

#### Proceso de fabricación por inyección:

En la fabricación de las piezas estudiadas durante el proyecto se utilizará el proceso de moldeo por inyección para la fabricación de las piezas inyectadas. En los años setenta, James Watson Hendry inventó el moldeo por inyección, en el que se consiguió obtener piezas plásticas resistentes de forma rápida, económica y eficaz a través de polímeros en forma de granza.

Actualmente, las empresas que se suman al moldeo por inyección son cada vez más, llegando a fabricar más de cinco millones de toneladas de piezas de plástico al año a nivel mundial (3ds, 2023). A pesar de que la tecnología ha avanzado mucho desde entonces, las bases del proceso de moldeo por inyección son muy similares, con la diferencia de que ahora se cuenta con ordenadores que permiten automatizar el proceso y obtener resultados mucho más rápidos, precisos y eficaces.

#### Proceso de pintado:

Los primeros vehículos aparecieron a principios del siglo XIX. Llegados a las primeras décadas del siglo XX surge la necesidad de dotar a los componentes del interior del coche de un recubrimiento capaz de mejorar su resistencia, por lo que se comenzó a realizar el proceso de pintura sobre ellos, basado en la misma técnica que la que era utilizada para la madera.

Las primeras pinturas solo eran producidas en color negro, estaban formadas por barnices y su aplicación era muy complicada, lo que originaba una baja eficiencia en la producción. Posteriormente, se procedió a utilizar ceras y aceites sobre la madera y se descubrió el grado de impermeabilidad y brillo que estos aportaban.

Posteriormente, se procedió a utilizar ceras y aceites sobre la madera y se descubrió el grado de impermeabilidad y brillo que estos aportaban. Sin embargo, los efectos descubiertos no perduraban mucho tiempo en la pieza y fueron muchos los científicos que comenzaron a investigar este tema. En 1923, Éleuthère Irénée du Pont de Nemours descubrió los sistemas de laca basados en nitrocelulosa, que desarrollaba una función importante en el proceso de pintura, pues cuenta con propiedades tales como una amplia solubilidad en disolventes orgánicos, la compatibilidad con resinas y plastificantes, la capacidad de formación de películas transparente e inodoras o el rápido secado. En 1957

aumentó la demanda de los automóviles, y con ello la importancia de la laca acrílica, pues esta contaba con unas interesantes propiedades adhesivas y colorantes que la hacían destacar frente a la laca de nitrocelulosa. Alrededor de los setenta apareció un factor muy importante en el proceso de pintura; los catalizadores. Estos se encargan de disminuir la energía de activación necesaria para que se lleve a cabo una reacción, aumentando así la velocidad de reacción y disminuyendo el tiempo que era necesario para que las piezas obtuviesen un grado de curado y secado aceptable, (Cabycal, 2023).

#### Proceso de montaje:

El proceso de montaje y ensamblaje de los componentes va íntimamente ligado al avance de la tecnología, a partir del cual se han desarrollado máquinas y robots capaces de automatizar los procesos de forma parcial o incluso de forma total gracias a la programación establecida por un ordenador. Gracias a la tecnología se ha conseguido que el proceso que previamente se realizaba de forma manual, de forma costosa y al que se le tenía que dedicar mucho tiempo se pueda realizar de forma prácticamente automática en cuestión de segundos.

## **2. Objetivos**

El objetivo principal de este trabajo es realizar el estudio en el proceso de fabricación de piezas plásticas pintadas y propuestas de medidas técnicas adecuadas con el fin de reducir los defectos rechazados por parte de cliente.

Para poder llegar a cabo este objetivo general se proponen los siguientes objetivos específicos:

1. Identificación y estudio de las etapas del proceso productivo de las piezas objeto de estudio.
2. Identificación del defecto y de su causa raíz.
3. Identificación de ensayos y métodos de ensayo de aplicación a la pieza fabricada.
4. Propuesta de medidas de mejora de implementación en el proceso productivo.

## **3. Metodología**

Para los objetivos previamente planteados la metodología que se siguió fue la siguiente:

1. Realización de visitas estructuradas, entrevistas con los operarios y responsables de cada departamento y observación visual de las etapas del proceso.
2. Recopilación de información técnica y ensayos y análisis de los documentos relacionados con la no conformidad por parte del cliente.
3. Realización de ensayos sobre la pieza para encontrar una relación con el origen del defecto.
4. Estudio e implementación de las propuestas de mejora en el proceso productivo.

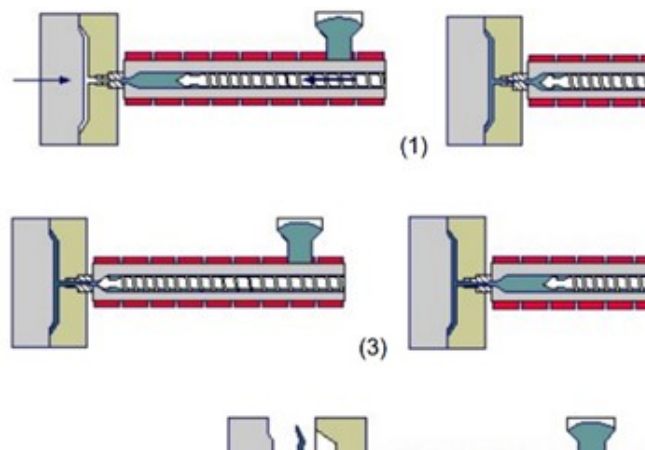
## 4. Resultados

### 4.1 Identificación y estudio de las etapas del proceso productivo.

#### Proceso de inyección:

La fabricación de las piezas inyectadas objeto de estudio se lleva a cabo gracias al proceso de moldeo por inyección, cuyo esquema se muestra en la siguiente imagen:

**Figura 1. Proceso de moldeo por inyección.**



Como se observa en la figura 1, el proceso se desarrolla en cinco etapas:

Primera etapa: se carga la extrusora de materia prima en forma de granza, dosificada por la tolva, donde la granza se mezcla gracias al giro del husillo y se funde. En la segunda etapa, esta mezcla se lleva hasta el molde que tiene la forma de la pieza gracias al avance del husillo (2) donde la materia prima va llenando el volumen del molde y adoptando la forma deseada. En la tercera etapa, se consolida la forma definitiva de la pieza gracias a la presión sostenida del husillo (3). En la cuarta etapa, el husillo retrocede a la posición (1) para repetir el proceso y también tiene lugar el enfriamiento de la pieza en el molde (4). En la quinta etapa se desplaza la matriz, y el molde se abre obteniendo la pieza ya terminada (5). Estas piezas así obtenidas, caen a una cinta transportadora y el operario realiza un control de calidad de forma visual para detectar posibles rebabas o defectos en la pieza procedente de la extrusora, se depositan las piezas válidas en el embalaje adecuado para que continúen su proceso productivo. Mientras que las piezas que se han considerado no válidas se analizan para ver si se pueden retrabajar o se gestionan como residuo.

#### Proceso de pintura:

Con el proceso de pintura no tiene sólo una finalidad estética, sino que también aporta un recubrimiento que proporciona resistencia a la pieza.

Este proceso comienza con la limpieza de las piezas con alcohol isopropílico, seguidamente, entran en la cabina de pintura, donde las piezas son colocadas en bandejas que se van avanzando a través de la cabina gracias a robots. Esta cabina, a su vez consta de dos áreas diferenciadas; el área de "primer" donde se aplica la primera capa de pintura y el área de barniz y catalizador.

En la cabina de "primer", se aplica a través de pulverizadores robotizados y a temperatura ambiente la primera capa de pintura sobre las piezas, proporcionando así el color negro

característico. Posteriormente, las piezas pasan a la zona de evaporado, donde a 24°C se evapora y comienza el proceso de curado de esta capa y la pintura comienza a adherirse sobre la pieza. Seguidamente, para continuar con el proceso de curado de las piezas estas irán a un horno donde experimentarán un salto térmico hasta alcanzar una temperatura de 45°C y por último, para terminar el curado pasan a una zona de enfriamiento a 23°C. De esta forma las piezas ya están preparadas para pasar a la segunda etapa que tiene lugar en la cabina de barniz y catalizador.

A continuación, se lleva a cabo la segunda etapa en la que se dosifica sobre la pieza a temperatura ambiente el barniz para adquirir el aspecto de acabado y sus propiedades físico químicas requeridas y el catalizador (13 gramos de catalizador por cada 100 gramos de barniz para que el tiempo de proceso de pintado y curado sea menor. El proceso es muy similar al que se lleva a cabo en la etapa anterior, pues las piezas pasarán por una zona de evaporado a 24°C para iniciar el proceso de curado, y se completará el curado en el horno en el que alcanzarán una temperatura de 85°C y una posterior zona de enfriado donde se reducirá la temperatura hasta los 23°C.

Una vez terminado, las piezas salen de la cabina y los operarios realizan un control de calidad visual. Aquellas que son válidas serán depositadas en su embalaje correspondiente para continuar el proceso productivo, y las declaradas como no conformidad se estudian para ver si pueden ser retrabajadas o tienen que ser gestionadas como residuo.

Realizado el proceso de inyección y pintado, la última etapa es el proceso automatizado de montaje, mediante el cual, los diferentes componentes son ensamblados para dar lugar a la pieza final.

En esta etapa se valida la calidad de las piezas obtenidas y que el proceso de curado es admisible o no según la aparición de defectos en sus componentes.

#### **4.2 Identificación del defecto y su causa raíz**

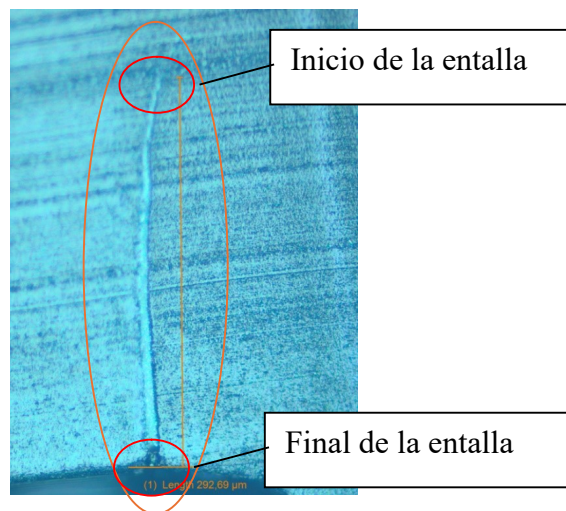
Para poder solventar este objetivo las etapas que se llevaron a cabo fueron las siguientes:

##### Identificación del problema

Se analizaron los documentos de no conformidad por parte del cliente para conocer en detalle el defecto que se estaba reclamando, dicho defecto, se trata de una pequeña entalla con cierta profundidad ubicada en la cara vista de la pieza objeto de estudio.

Posterior a ello se decidió tomar muestras del defecto para poder analizarlas en el microscopio, obteniendo el resultado que se muestra en la figura 2:

**Figura 2. Defecto causa de los rechazos por parte de cliente.**



Como se puede observar en la Figura 2, la imperfección se manifiesta de forma transversal sobre la dirección de pintado de la pieza. En ella se observa que tiene una profundidad creciente a partir del inicio del defecto hasta cruzar la pieza.

#### Análisis de la causa raíz del problema

Conocido el defecto se decidió realizar reuniones semanales con diferentes departamentos de la empresa así como el Departamento de Calidad de planta, el Departamento de Calidad de cliente, el Departamento de Logística o el Departamento de Mejora Continua para poder hallar posibles causas raíz del defecto, las cuales fueron las siguientes:

1. Deformaciones en el molde de inyección o en la cinta transportadora
2. Materia prima en estado de agregación inadecuado
3. Daños producidos en las piezas por partículas en los embalajes que se almacenan
4. Falta de adherencia de la pintura sobre la superficie de la pieza
5. Grado de curado inadecuado de la pintura al manipular las piezas en el proceso de montaje

Se propusieron por tanto las siguientes soluciones para cada una de las posibles causas raíz:

1. Causa raíz 1: Revisión por parte de los técnicos de planta
2. Causa raíz 2: Revisión por parte de los técnicos de planta
3. Causa raíz 3: Procedimiento de limpieza por parte del departamento de embalajes
4. Causa raíz 4: Realización de ensayos para encontrar una relación entre la adherencia y el defecto
5. Causa raíz 5: Búsqueda de un estándar de tiempo de almacenamiento de las piezas previo al proceso de montaje.

### 4.3 Identificación y realización de ensayos y métodos de ensayo de aplicación en la pieza fabricada

Como se puede observar en el objetivo específico 4.2 (“Identificación del defecto y su causa raíz”), unas de las posibles causas raíz que se encontró para el defecto que provoca rechazos por parte de cliente son: el grado de curado inadecuado de la pintura y la falta de adherencia de la pintura sobre la superficie de la pieza. Por ello, se buscó un ensayo que relacionase la adherencia con el defecto y un estándar de tiempo de almacenamiento de la pieza previo a su manipulación.

Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

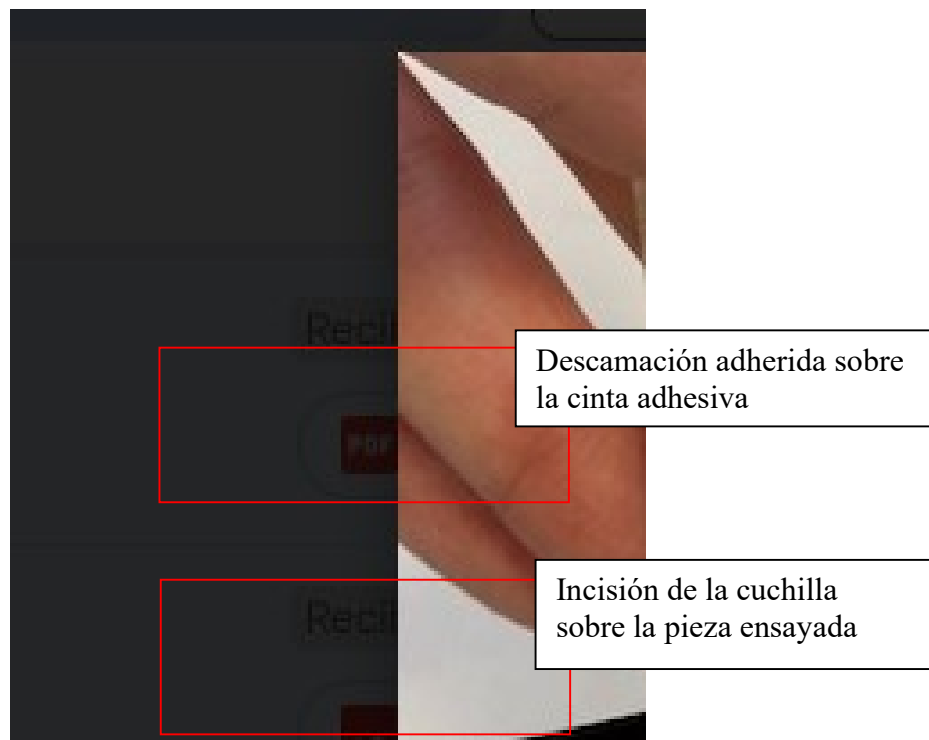
#### **Test de adherencia**

Se ha de conocer que la adherencia es considerada como la tendencia que tienen las partículas de la pintura a aferrarse a la superficie de la pieza.

Se plantea por tanto que una de las variables que afectan a que la pintura presente un grado de curado adecuado, y por tanto no presente el defecto que se rechaza, es la adherencia la cual puede ser medida gracias a la prueba de adherencia que sigue la norma EN-ISO 2409 para el cliente que presenta la reclamación.






El test de adherencia se realiza a través de un porta-cuchillas, con el cual se realizará una incisión de un milímetro sobre la superficie mientras se ejerce una presión uniforme. Posterior a ello se aplica un trozo de cinta adhesiva (Tesa número 4657) y se retira con un ángulo de 60°, siendo el resultado final el que se observa en la figura 3:

**Figura 3. Test de adherencia.**



A continuación, en la Tabla 1 se evaluará con una categoría de 0 a 5 la superficie donde se ha realizado el test, en función de la descamación que presente al retirar la cinta:

**Tabla 1. Evaluación del test de adherencia.**

Categoría	Aspecto de la superficie
0	
1	
2	
3	
4	
5	Descamación es superior al de la categoría 4.

Siendo las categorías 0 y 1 de la Tabla 1 aquellas que el cliente considera válidas. En la categoría 0 los bordes de las incisiones son perfectamente lisos, mientras que en la 1, se observan unas ligeras descamaciones del recubrimiento en las intersecciones de las incisiones, siendo el área de enrejado afectada inferior al 5% del área estudiada.

Conocida la información relativa al ensayo, se propuso que 2 personas diferentes realizasen el test de adherencia dos veces en la misma pieza, en 10 piezas validadas (OK) y en 10 piezas rechazadas (NOK).

Los resultados del test de adherencia obtenidos para las 10 piezas validadas se recogen en la tabla 2:

**Tabla 2. Resultados del test de adherencia en piezas OK.**

	Persona 1		Persona 2	
	Medición 1	Medición 2	Medición 1	Medición 2
Pieza 1	1	1	1	1
Pieza 2	0	1	1	0
Pieza 3	0	1	0	1
Pieza 4	1	1	1	1
Pieza 5	0	1	1	0
Pieza 6	0	0	0	0
Pieza 7	1	0	1	1
Pieza 8	1	0	1	1
Pieza 9	1	1	1	1
Pieza 10	1	0	0	0



En la tabla 2, se muestran todos los resultados obtenidos para el test de adherencia en las piezas que no han presentado defectos (valor de 0 o 1), es decir tienen un grado de adherencia admisible para el cliente.

Mientras que los resultados obtenidos para el test de adherencia en las 10 piezas NOK son los que se muestran en la Tabla 3:

**Tabla 3. Resultados del test de adherencia en piezas NOK.**

	Persona 1		Persona 2	
	Medición 1	Medición 2	Medición 1	Medición 2
Pieza 1	4	5	4	5
Pieza 2	2	2	2	3
Pieza 3	3	2	2	2
Pieza 4	4	4	4	5
Pieza 5	3	3	3	2
Pieza 6	2	2	2	2
Pieza 7	4	4	4	4
Pieza 8	3	4	4	4
Pieza 9	4	4	4	3
Pieza 10	2	3	2	3

En la tabla 3 se muestra como todas las piezas que presentaban el defecto, tienen una categoría en el test de adherencia mayor o igual a 2, lo que indica que la adherencia no es admisible para el cliente.

La información recogida en las tablas anteriores se puede afirmar: que las piezas con un grado de curado admisible presentan una adherencia admisible y las piezas con un grado de curado inadmisibles presentan una adherencia inadmisibles, encontrando así la relación buscada entre el grado de curado y la adherencia que permitirá medir si las piezas presentan un grado de curado adecuado o no.

### **Búsqueda de un estándar de tiempo de almacenamiento previo al proceso de montaje**

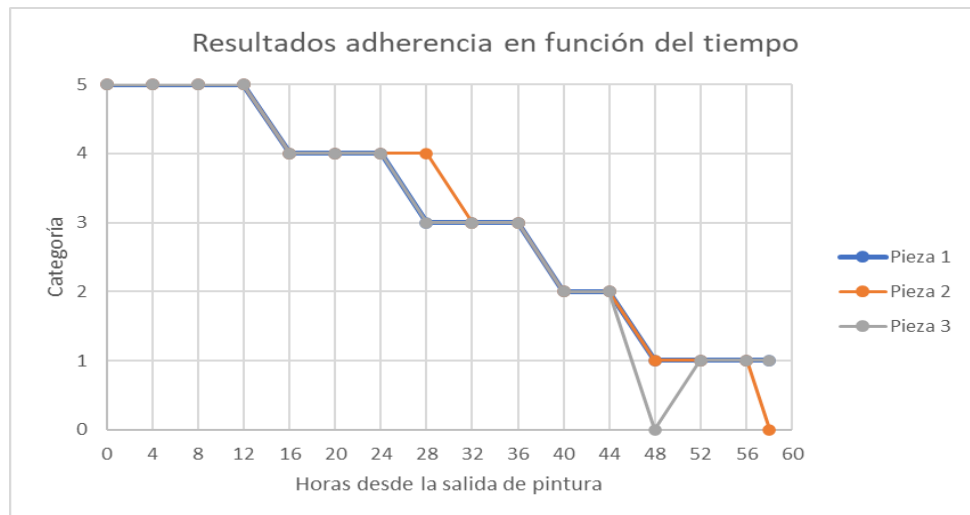
Conocida esta información respecto a la relación que se encuentra entre el grado de curado de las piezas con la adherencia de estas, se procede a buscar un estándar de tiempo de almacenamiento mínimo de las piezas antes de pasar al proceso de montaje para que cuenten con un grado de adherencia y de curado válidos y puedan ser manipuladas sin que se produzcan defectos sobre ellas.

Para ello, tres piezas se someten al test de adherencia cada cuatro horas desde su salida del proceso de pintado hasta que se llegue a obtener un resultado de categoría cero o uno; es decir válidos en el test de adherencia.

**Tabla 4. Resultados test de adherencia en función del tiempo de almacenamiento.**

Tiempo desde la salida de la línea de pintura (horas)	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	58
Resultado test de adherencia PIEZA 1	5	5	5	5	4	4	4	3	3	3	2	2	1	1	1	1
Resultado test de adherencia PIEZA 2	5	5	5	5	4	4	4	4	3	3	2	2	1	1	1	0
Resultado test de adherencia PIEZA 3	5	5	5	5	4	4	4	3	3	3	2	2	0	1	1	1

**Figura 4. Resultados de adherencia en función del tiempo de almacenamiento**



Como se observa en la Tabla 4 y la Figura 4 a partir de las cuarenta y ocho horas se observa como ya se obtienen el resultado deseado, es decir que la categoría obtenida al realizar el test de adherencia esté entre cero y uno.

Para asegurar este resultados las piezas que han estado almacenadas durante cuarenta y ocho horas son sometidas a un control de calidad, en el cual todas resultaron admisibles.

Con esta información se puede establecer un estándar de tiempo mínimo de almacenamiento de las piezas de cuarenta y ocho horas, pues respetado ese tiempo se obtiene un resultado válido en el test de adherencia y en el control de calidad previo al proceso de montaje, es decir un grado de curado admisible.

#### 4.4 Propuesta de medidas de mejora de implementación en el proceso productivo

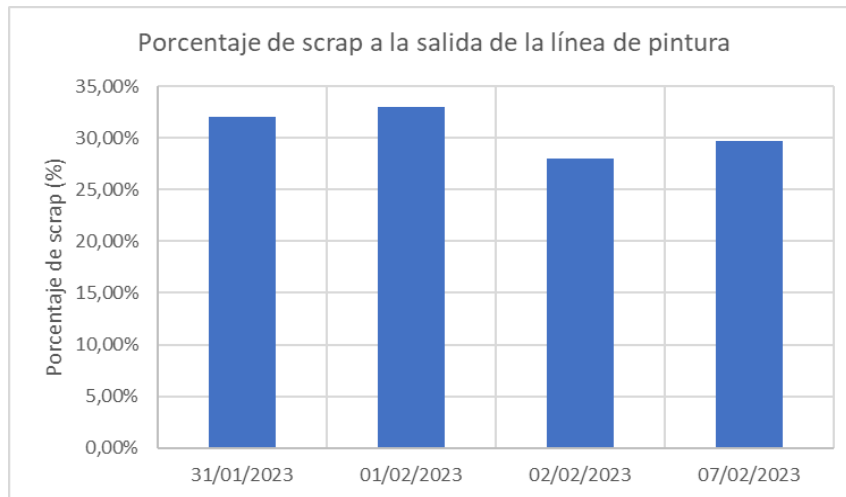
Se observaron diferentes acciones a mejorar, pero en este objetivo se comentará una de ellas; en concreto un fallo que hubo en la dosificación de catalizador en la cabina de pintura.

Por tanto, en caso de la ausencia de catalizador o de una insuficiente cantidad de catalizador, las condiciones de temperatura necesarias para que se pueda dar la evaporación del disolvente y por tanto la formación de los entrecruzamientos serán mayores, haciendo así que no se consiga el objetivo final en el tiempo establecido. Es por esto por lo

que se decidió establecer un protocolo para llevar un control sobre la dosificación del catalizador.

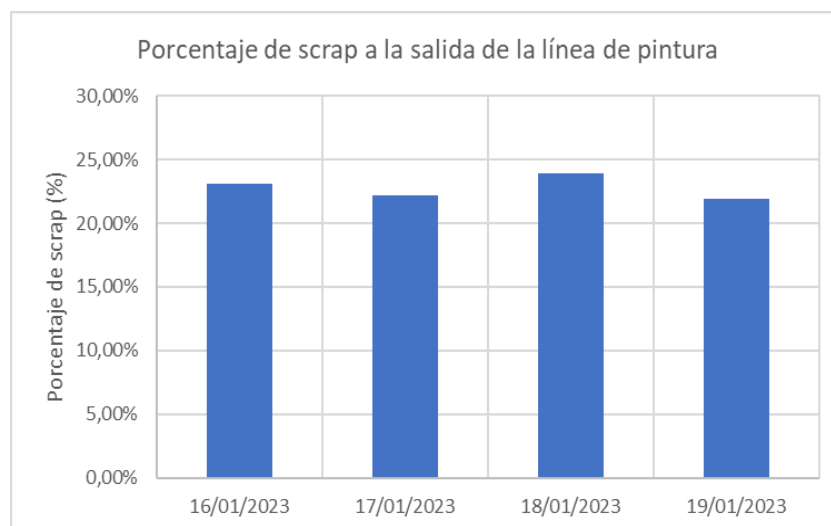
Para crear este protocolo se estudió el porcentaje de piezas defectuosas (conocidas como scrap) a la salida de la línea de pintura; proceso en el cual se dosifica en catalizador, en los días que ocurrió esta problemática:

**Figura 5. Porcentaje de scrap ante una mala dosificación del catalizador.**



En la Figura 5 Se puede observar, que los días en los que la dosificación del catalizador fue inadecuada el porcentaje de scrap diario fue superior al 25%, mientras que cuando el catalizador se dosifica en su cantidad adecuada los resultados diarios de scrap tienen valores inferiores al 25%, lo que se observa en la figura 6.

**Figura 6. Porcentaje de scrap con una dosificación adecuada de catalizador.**



Ante fallos en la dosificación del catalizador se impuso un procedimiento cada vez que el porcentaje de scrap obtenido fuese mayor al 25%. Este consiste en frotar tres muestras de las piezas del lote defectuoso con un paño humedecido en alcohol isopropílico al 50%, así pues si la cantidad de catalizador es la correcta el alcohol no se disolverá en la pintura y la pieza quedará intacta. Si al frotar la pieza se disuelve en la pintura y la pieza se reblandece

significa que la dosificación no se ha realizado correctamente y por tanto se deberá detener la cabina de pintura y analizar el origen del problema.

De esta forma, se estaría contribuyendo a mejorar la eficiencia del proceso productivo de pintado, pues se detectaría mucho antes el problema y se podría solucionar antes para que no afecte en los lotes siguientes como ocurre en la Figura 6.

## 5. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en cada uno de los apartados del proyecto se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. Con dedicación y visitas a la planta productiva se consigue comprender el proceso productivo en profundidad, en el cual se obtienen las piezas inyectadas a partir del proceso de moldeo por inyección, seguidamente estas piezas experimentan el proceso de pintado en la cabina de pintura y posteriormente se ensamblan los componentes necesarios para dar lugar a la pieza final.
2. A partir de la realización de ensayos, se logra encontrar una relación muy importante entre el grado de curado de la pintura y la adherencia, así pues, se observaba que todas las piezas que se daban por válidas en el control de calidad previo al proceso de montaje, también se daban por válidas en el test realizado para comprobar la adherencia de la pieza, mientras que todas aquellas que no se daban por válidas en el control de calidad previamente dicho tampoco superaban el test de adherencia.
3. Con la información obtenida en los ensayos realizados se consiguió implantar un estándar de tiempo de almacenamiento de cuarenta y ocho horas desde que las piezas salen de la línea de pintura para que puedan ser manipuladas de nuevo para ser transportadas o experimentar el proceso de montaje. De esta forma, se aseguraba que pasado ese tiempo se cumplía que las piezas ya habían experimentado el proceso de curado y que su adherencia era válida para poder trabajar con ellas.
4. Gracias a las constantes visitas a las líneas se conoce al personal, el cual tiene información sobre ensayos que se han realizado en otras piezas pintadas. Conocidos ciertos ensayos, la estudiante se centra en uno de ellos, en el cual gracias a pasar un trapo con alcohol isopropílico al 50% se puede detectar si la dosificación de catalizador ha sido la adecuada o ha sido insuficiente.

Se propone, por tanto, establecer un procedimiento en el cual cuando el porcentaje de scrap sea superior al promedio, es decir superior al 25% a la salida de la línea de pintura, se realice este ensayo para ver si el factor que lo está produciendo es un problema en la dosificación de catalizador. Así pues, se avisaría al personal encargado de gestionar este tipo de problemas a tiempo pudiendo arreglarlo a tiempo y evitar que esto ocurra en las piezas que fuesen a entrar a la cabina posteriormente.

## 6. Referencias

- (1) Moldeo por inyección. (n.d.). Obtenido el 1 de Mayo de 2023, desde <https://www.3ds.com/es/make/guide/process/injection-molding>
- (2) Pintura automoción. Historia y evolución. (n.d.). Obtenido el 28 de abril de 2023, desde <https://www.cabycal.com/historia-pintura-automocion/>

**Comunicación alineada con los  
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

