



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

TRABAJO FINAL DEL

REALIZADO POR

TUTORIZADO POR

CURSO ACADÉMICO: 2019/2020

RESUMEN

El panel de instrumentos, también conocido como salpicadero, de un coche es una pieza principal en la línea de producción debido a su complejidad a la hora de su fabricación. Esta complejidad viene dada por las características de seguridad que debe cumplir el salpicadero y por ser la pieza más visual de un vehículo. Todas estas restricciones implican que el panel de instrumentos va a tener muchos chequeos de seguridad y también muchos chequeos visuales para que la pieza esté perfecta visualmente cuando llegue al cliente final y cumpla con los requisitos de seguridad exigidos en un vehículo.

Este proyecto final de máster, dirigido por Mónica Arroyo Vázquez y Bernabé Marí Soucase y realizado por Inmaculada Merchán Martí, se titula *Implantación de una cámara térmica en una línea de producción del panel de instrumentos de vehículos* y tiene como objetivo implantar un proceso automático basado en una cámara térmica para sustituir un proceso de chequeo manual del salpicadero. Esta cámara se va a instalar en el punto del proceso en el que se produce el defecto reduciendo así el coste de tener que tirar una pieza cuando está acabada, que es cuando más valor tiene.

Hasta el momento, este defecto se detecta mediante el palpado manual por parte del operario del 100% de las piezas que se producen en tres puntos diferentes del proceso de producción del salpicadero.

En este TFM, se va a hacer un estudio previo con el método de trabajo actual, se va a asegurar que el equipo cumple con las necesidades de producción y se va a hacer un estudio para cuantificar el ahorro que implicaría sustituir el método actual por el análisis mediante termografías.

Palabras clave: termografía, cámara térmica, panel de instrumentos, COPQ.

ABSTRACT

The instrument panel of a car is the main part of the production line due to its manufacturing complexity. This complexity is given by the safety characteristics that the instrument panel must meet and by being the most visual part of a vehicle. All these restrictions imply that the instrument panel will have many safety checks and also, many visual checks to be a visually perfect part when it reaches the final customer and meets the safety requirements of a vehicle.

This final master project, directed by Mónica Arroyo Vázquez and Bernabé Marí Soucase and carried out by Inmaculada Merchán Martí, is titled *Implementation of a thermal camera in a vehicle instrument panel production line* and the objective is to implement an automatic process based on a thermal camera to replace a manual check process. This camera will be installed at the point of the process where the defect occurs, thus reduce the cost of throwing a piece when it is finished, which is when the part has the most value.

Currently, this defect is detected by manual palpation by the operator of 100% of the parts that are produced at three different points in the instrument panel production process.

In this TFM, a previous study will be made with the current working method, it will ensure that the equipment meets the production needs and a study will be made to quantify the savings that would imply replacing the current method with the analysis by thermography.

Key words: thermography, thermal camera, instrument panel, COPQ,

TABLA DE CONTENIDO

Contents

TABLA DE CONTENIDO	3
1. NOMENCLATURAS Y ABREVIATURAS	5
2. JUSTIFICACIÓN Y MOTIVACIÓN	7
2.1 Justificación académica.....	7
2.2 Motivación y justificación empresarial	7
3. INTRODUCCIÓN	9
3.1 Introducción al entorno de desarrollo del proyecto.....	9
3.1.1 Situación del mercado actual.....	9
3.1.2 La compañía	9
3.1.3 Ford Motor Company como cliente.....	11
3.2 Introducción a la línea de producción del IP.....	11
3.2.1 Modelos de fabricación	11
3.2.2 Definición del flujo productivo del IP.....	12
3.2.2.1 El proceso de foamizado y las burbujas.....	16
3.2.3 Características críticas o de seguridad (CC) en el IP	17
4. OBJETIVO Y PLAN DE TRABAJO	18
5. DESARROLLO DEL PROYECTO DE MEJORA	19
5.1 Especificaciones del equipo y condiciones de trabajo.....	19
5.1.1 Principio de medida del equipo de detección	20
5.2 Cálculo del porcentaje de burbujas detectadas en las 3 inspecciones usando el método actual de inspección.....	25
5.3 Factibilidad financiera y amortización del equipo. <i>Business case</i>	31
5.3.1 Situación actual de la inspección en la línea de producción	31
5.3.2 Cálculo del contenido de trabajo en la inspección	33
5.3.2.1 Método de inspección manual	33
5.3.2.2 Método de inspección con cámara térmica	34
5.3.3 Impacto ergonómico en la inspección manual	36
5.3.4 Costes asociados a la baja calidad en el cliente (COPQ).....	38
5.3.5 Costes asociados al scrap por burbuja.....	40
5.3.5.1 Método de inspección manual	40

5.3.5.2	Método de inspección con cámara térmica	41
5.3.6	Ahorro total durante la vida del proyecto	42
6	CONCLUSIONES	44
7	PRESUPUESTO	46
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1. NOMENCLATURAS Y ABREVIATURAS

8D: Las 8D son una metodología de Lean Manufacturing para la resolución de problemas, que mediante la constitución de un equipo competente y siguiendo un proceso de análisis y toma de decisiones estructuradas en 8 pasos, permite resolver los problemas, focalizándose en los hechos (objetividad) y no en las opiniones (subjetividad).

Business case: Documento que resume los principales aspectos de una acción comercial y suele utilizarse para justificar una inversión en un proyecto.

CC: *Característica Crítica* o de seguridad. Característica que debe cumplir una pieza o proceso para asegurar la seguridad del vehículo y del usuario. Se define como una delta invertida.

COPQ: *Cost Of Poor Quality*. Costes asociados a la producción que desaparecerían si el proceso, el producto o todo el sistema fuese perfecto.

FIFO: *First In First Out*. Primero que entra, primero que sale. Modelo logístico de almacenamiento en el que la primera pieza que ha entrado en estado de almacén es la primera en salir de este estado.

FY: En inglés, fiscal year. Período de año fiscal.

Gap: en inglés significa hueco, diferencia. El gap (en el sector de automoción) es el espacio que hay entre una pieza y otra. Esta distancia está definida por el cliente en todos los ejes y en todos los puntos de la pieza con un valor nominal y una tolerancia máxima que se puede enviar al cliente sin que la pieza sea rechazada.

IP: en inglés *Instrument Panel*. Panel de instrumentos, salpicadero de un coche.

Layout: diseño, disposición de las líneas de producción en la planta. Plano de la planta.

Lean Manufacturing: método o filosofía de organización del trabajo que se centra en la mejora continua y optimización del sistema de producción mediante la eliminación de desperdicios y actividades que no suman ningún tipo de valor al proceso.

MTM: en inglés, *Methods Time Measurement*. Se define como el procedimiento que permite calcular tiempos teóricos de ejecución de actividades industriales totalmente influenciados por el hombre.

MODAPTS: en inglés, *Modular Arrangement of Predetermined Time Standards*. Es un tipo de lenguaje que describe de manera secuencial, movimientos corporales necesarios para llevar a cabo una tarea en particular; facilitando un guión sobre cómo se realiza esa tarea, movimiento a movimiento. El objetivo es establecer un tiempo de ejecución para realizar una tarea que sea razonable y sostenible.

NOK: No OK. Término que se utiliza para denominar una pieza, característica o requerimiento que no cumple con la calidad.

PEIL: *Potencial Ergonomics Issues List*. Método que se utiliza para determinar los problemas ergonómicos potenciales de la realización de una tarea en la línea de producción.

RW: Abreviatura de la palabra inglesa *rework*. Retrabajo.

Scrap: término que se utiliza en automoción para denominar las piezas sin calidad, para tirar.

Team Leader: traducido del inglés, Jefe de Equipo. En producción es el responsable de la gestión del grupo de operarios de una o varias líneas de producción.

SUV: *Sport Utility Vehicle*. Modelos de automóviles que combinan elementos de automóviles todoterreno y de automóviles de turismo.

VSM: *Value Stream Mapping*. Es una de las principales herramientas utilizadas dentro de la metodología del lean manufacturing. Se representa como un diagrama de flujo que muestra de forma muy resumida y visual el flujo de productos e información desde el inicio del proceso hasta que se entrega al cliente. Muy útil para analizar, visualizar y optimizar el flujo.

Work content: representa el tiempo total de un operario, o la suma del tiempo de varios operarios, necesario para llevar a cabo un cierto proceso o producto. En este proyecto se refiere al tiempo necesario para realizar un IP.

2. JUSTIFICACIÓN Y MOTIVACIÓN

2.1 Justificación académica

El Trabajo Fin de Máster implica la aplicación de una serie de conocimientos que se han ido adquiriendo a lo largo de la carrera y que se han complementado con el máster. Además, al ser un TFM práctico, también se han aplicado los conocimientos y el análisis crítico, adquiridos durante los años de experiencia en el sector de automoción como ingeniera de procesos.

Las razones por las que he elegido realizar este proyecto han sido principalmente el carácter práctico del mismo y la necesidad de implantación de un proyecto de mejora en la compañía.

Mayoritariamente para llevar a cabo este proyecto se necesitan conocimientos técnicos de Auto-Cad, mecánica, sensores térmicos, química, gestión de proyectos y por último es fundamental tener un conocimiento económico para elaborar el presupuesto del proyecto.

2.2 Motivación y justificación empresarial

Teniendo en cuenta la pérdida global de beneficios del sector de automoción en la actualidad, el reto hoy en día es conseguir reducir costes en todos los niveles para poder ser una empresa competitiva en el sector (García, F., 2019)¹.

Las empresas del sector, tanto clientes como todo el abanico de proveedores, dedican incontables recursos para reducir costes directos e indirectos asociados a la producción.

En este proyecto, se persigue este mismo objetivo, la reducción de costes de producción asociados a una línea de producción en concreto.

Estos costes pueden ser directos, reducción de los segundos de contenido de trabajo que se tarda en fabricar un IP y por lo tanto aumentar la productividad (hacer más piezas por hora) o reducción de mano de obra directa (hacer las mismas piezas por hora, pero con menos operarios).

Otro de los costes es el COPQ (*Cost Of Poor Quality*), que es el coste de producir piezas de no calidad (piezas malas, scrap). Es el coste de las piezas que se tiran por no cumplir la calidad pactada con el cliente y los costes asociados cuando una pieza NOK se escapa del flujo y llega a cliente. En este segundo caso se debe llevar a cabo un protocolo que lleva asociado un alto coste. El protocolo es revisar todo el stock tanto en la planta de producción como el stock que hay en el almacén del cliente y asegurar que ninguna pieza con el mismo defecto vuelva a llegar a cliente. Una vez revisado todo el almacén hay que asegurar que de la línea no vuelve a producirse una pieza con el mismo defecto revisando en el 100% de las piezas ese defecto en cuestión hasta que el proceso se modifique para evitar ese defecto atacando la causa raíz. Todo este proceso se documenta y se realiza un 8D que se entrega al cliente para justificar lo ocurrido y lo que se ha hecho para que no vuelva a ocurrir.

En este caso, el proyecto forma parte de la visión estratégica de la empresa. Se han puesto todos los recursos (visitas a otras plantas de producción para conocer otros equipos, inversión en nuevos equipos, tiempo de producción a disposición de pruebas, técnicos de calidad para comprobar la calidad de las piezas fabricadas bajo nuevos parámetros, talleres de mejora continua con equipos multidisciplinares para la definición e implantación de nuevos proyectos...) para buscar nuevos métodos de trabajo que permitan reducir los costes anteriormente comentados.

3. INTRODUCCIÓN

3.1 Introducción al entorno de desarrollo del proyecto

3.1.1 Situación del mercado actual

El sector de la automoción a nivel mundial está obligado a reinventarse y los datos lo corroboran. En 2018 tanto la producción como las ventas de vehículos registraron una caída global del 1,1% sin haberse declarado una crisis económica. El momento actual supone un punto de inflexión por diversos motivos: las restricciones al tráfico en ciudades como Madrid, París o Nueva York ponen limitación al uso de los coches privados aumentando el uso de coches compartidos. Hay una mayor conciencia medioambiental y los hábitos de movilidad han cambiado. En 2030 habrá una reducción obligatoria de emisiones de un 37,5% en turismos y todoterrenos nuevos sin contar con los esperados vehículos de conducción autónoma que espera su llegada masiva al mercado en 2025 (Mezcua, U., 2018)².

3.1.2 La compañía

La empresa donde se realiza este proyecto es un proveedor líder global de piezas de interiores para la industria de automoción. La sede de la compañía se encuentra en Shanghái (China) y tiene más de 100 centros de producción y oficinas técnicas en 17 países. Actualmente consta de 29.600 empleados por todo el mundo. A continuación, en la figura 1, cedida por la empresa, se puede observar la situación global de la compañía



Ilustración 1. Marco global de la empresa.

A nivel de España, esta empresa tiene una planta productiva en Almussafes, Valencia, donde se desarrolla este proyecto de mejora. Como cliente principal sirve piezas a Ford Motor Company para las plantas de Almussafes, Alemania y Rusia.

Las principales líneas de producción que se encuentran en la planta de Almussafes son las de producción del Instrument Panel (IP, salpicadero), las de puertas, las de consola y las de producción de defroster. Además, consta de una nave dedicada a la inyección de plásticos que envía piezas directamente a Ford o actúa como proveedor de materia prima para las propias líneas de producción.



Ilustración 2. Principales productos de la planta de Almussafes.

En la imagen 2 se muestran los principales productos que se realizan en la planta de Almussafes, como son los paneles de las puertas, el salpicadero y las consolas entre otros productos.

3.1.3 Ford Motor Company como cliente

Se conoce abiertamente que 2018 y 2019 fueron unos años de pérdidas para Ford (De la Torre, N., 2019)³ (Romero, V., 2019)⁴ y que éste se encuentra en plena crisis. La necesidad ha hecho que la organización reestructure su organigrama a nivel de dirección y que se hayan tomado medidas drásticas sobre todo en Europa.

Entre las medidas se encuentra el cierre de 6 fábricas repartidas en Eslovaquia, Gales, Francia y Rusia (García, F., 2019)⁵ y la decisión de dejar de producir algunos modelos de coches, como el C-Max (Ford dejará de producir el C-MAX en la fábrica alemana de Saarlouis, 2019)⁶, apostando por el auge de la demanda en el mercado de coches SUV (*Sport Utility Vehicle*) como el *Kuga* y vehículos empresariales como la furgoneta *Transit*.

Uno de los principales motivos es el descenso de la demanda de coches diesel (Las ventas de coches caen un 4,8% en 2019, su primer descenso en siete años, 2020)⁷, el exceso de capacidad en las fábricas, la poca innovación en los modelos nuevos ante las nuevas demandas de SUV y los elevados costes de producción.

Esta crisis afecta también a los proveedores que dependen mayoritariamente de un sólo cliente. Ford ha convocado 22 días de ERTE durante diciembre de 2018 y septiembre de 2019 (Serra, M., 2018)⁸. Esto está relacionado directamente con la bajada del volumen de producción de coches. En la empresa donde se desarrolla el proyecto, la bajada de producción ha supuesto la fabricación de 100 coches menos al día lo que supone que todo el equipo de ingeniería tenga que buscar ahorros de costes para superar la situación actual.

3.2 Introducción a la línea de producción del IP

3.2.1 Modelos de fabricación

La línea de producción del panel de instrumentos es una de las líneas productivas más complejas y que más beneficios aporta a la planta ya que se fabrican salpicaderos para dos modelos, C-Max y el SUV Kuga. Este último tiene un alto volumen de producción, en torno a 1200 coches al día.

Por otro lado, el nuevo modelo de Kuga que va a sustituir al actual se lanzará a principios del 2020. Este modelo está en pleno lanzamiento en la planta de Almussafes desde septiembre de 2018, la cual también va a producir el IP de este nuevo coche. Es prioritario que el proyecto de mejora sea aplicable a nuevos modelos para poder amortizar la inversión.

3.2.2 Definición del flujo productivo del IP

Una de las herramientas para definir el flujo productivo de un producto es el Process Flow o el VSM. Estas herramientas son clave dentro de la filosofía Lean Manufacturing y sirven para analizar el proceso desde la recepción de materias primas hasta que llega el producto a cliente (El-Haik, B. et al., 2010)⁹. Este documento que muestra una visión global de todo el proceso es muy útil para identificar desperdicios y reducir costes productivos, logísticos o de sobreproducción.

Dada la complejidad del proceso productivo del IP, se va a resumir a continuación las operaciones que se llevan a cabo mediante un flujograma (Imagen 3).

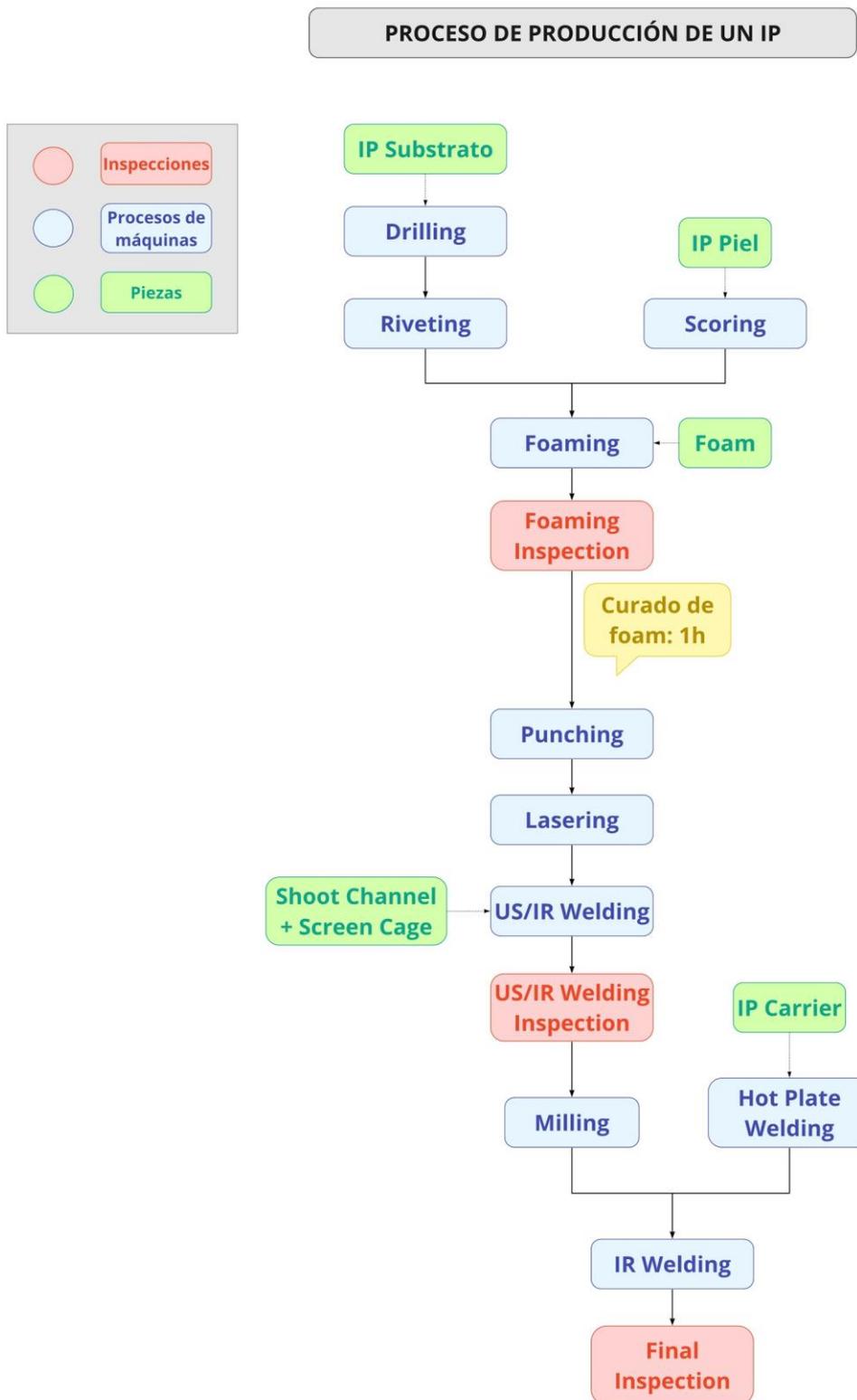


Ilustración 3. Flujograma del proceso productivo de un IP.

Es muy importante entender el proceso productivo del IP para darle la importancia necesaria a este proyecto de mejora. Las tres inspecciones de calidad, del 100% de las piezas, que se encuentran en el proceso no aportan ningún valor añadido a la pieza y por lo tanto el cliente no paga por ello.

Las inspecciones del 100% de las piezas es uno de los mayores costes que se asume en automoción, la sobrequalidad de las piezas, y por lo tanto un punto donde se debe reducir el tiempo empleado para la revisión y el número de veces que se revisa la pieza. Si el proceso fuera ideal, no haría falta revisar ninguna pieza y por lo tanto el cliente no asume los costes de que un proceso sea defectuoso. La eficiencia de la inspección debe ser muy alta y por lo tanto los métodos de inspección deben ser revisados periódicamente para ser optimizados.

El proceso se puede resumir de la siguiente manera:

1. El sustrato inyectado de B2 (planta de inyección) llega a B1 (planta de ensamblado). El sustrato se taladra en la máquina *Drilling* y se hacen 8 orificios que es donde se colocarán y se remacharán 8 remaches para poner el metal door (la placa metálica por donde va a saltar el airbag) en la máquina *Riveting*.
2. Por otro lado, la piel superficial de la pieza producida por un proveedor en Italia, que es la que se ve a cara vista, se corta con una cuchilla en la máquina *Scoring*. Este corte no traspasa la piel y sirve para debilitar la piel por la zona donde debe romper el airbag. Si la piel no tuviera este debilitamiento, el airbag rompería por un sitio aleatorio y la seguridad del pasajero se vería afectada.
3. Estas dos piezas se colocan en el molde de foamizado. El sustrato se sitúa en el molde superior y la piel en el molde inferior. El robot de foamizado entra entre las dos partes del molde y expulsa la cantidad adecuada de poliol e isocianato produciendo una reacción exotérmica que forma una mezcla sólida llamada foam. Este punto del proceso es muy crítico ya que aquí se produce el mayor porcentaje de scrap de toda la línea debido a la criticidad del proceso. De todos los defectos que se crean en este proceso el que es interesante desde el punto de vista de este proyecto son las burbujas de aire que quedan encapsuladas entre la piel y el sustrato creando un defecto visual y de seguridad en la pieza.
4. Esta pieza (conjunto de piel, sustrato y foam) se inspecciona para controlar la calidad de la pieza. Durante la inspección se revisa de forma visual manchas, rayas, hundimientos y cantos biselados. Una vez revisados estos puntos el operario palpa toda la pieza en busca de burbujas (defecto que causa el mayor % de scrap). Si la burbuja se encuentra en la zona del airbag, la pieza se tira directamente, pero si se encuentra en otra zona, se puede reparar en puntos intermedios de reparación. Una vez libre de defectos, a la pieza se le prueban dos galgas que imitan piezas que se ensamblan en el salpicadero a posteriori y se mira cómo queda en la pieza. Una se prueba en la zona central y la otra en el mando de luces para ver la interferencia que forman las 2 piezas y comprobar que no hay gap (espacio) entre una pieza y la otra. Este espacio puede ser como máximo de 0.35 mm. Si alguna de las dos galgas produce gap en la pieza, la pieza se tira.

5. Una hora después de foamizarse, el foam ya se ha endurecido y la pieza ya se puede seguir procesando. El siguiente proceso es el de punzonado, en el cual se troquela la pieza dando forma al IP en la máquina *Punching*.
6. Una vez troquelada, la pieza se somete a un debilitamiento laser. Este proceso consiste en realizar una serie de pulsos que generan micro-agujeros en el sustrato de forma que parece una línea continua. Este proceso debilita el sustrato y el foam de modo que el airbag sólo puede explotar por esa línea (que a su vez está alineada con el corte de la piel realizado en el segundo proceso por la máquina *Scoring*). Este proceso se realiza en la *Lasering*.
7. En la *US/IR Welding* se suelda el canal de disparo del airbag (donde va atornillada y encapsulada la bolsa del airbag) mediante soldadura por infrarrojos y la pantalla central del IP mediante soldadura por ultrasonidos.
8. Se vuelve a hacer una inspección de la pieza para asegurar la calidad. En esta inspección (llamada inspección *US/IR Welding* o inspección intermedia) se revisan los puntos de soldadura del canal de disparo del airbag y de la pantalla central del salpicadero. Esta inspección es el segundo punto de revisión de los defectos visuales de la pieza. Se vuelve a revisar la cara vista de la pieza en busca de manchas, rayas, hundimientos y cantos biselados. Una vez revisados los dos puntos anteriores se vuelve a palpar la pieza en busca de burbujas. El criterio de recuperación es el mismo que en la primera inspección.

Como en el primer punto de inspección la pieza sale caliente (aprox. 40°C) es más difícil detectar burbujas porque el foam todavía está blando, por eso es muy importante esta segunda inspección, ya que la pieza ya se ha enfriado y el palpado es diferente. Como consecuencia, el porcentaje de burbujas detectado es aún muy elevado.

9. En el siguiente proceso se fresa el salpicadero en la *Milling* por donde deben ir todos los cables eléctricos y se eliminan partes sobrantes del salpicadero. El volumen de la pieza se va reduciendo.
10. Este es un proceso a parte de una pieza plástica que en el nº 11 se junta con el sustrato. La pieza de plástico (*IP Carrier*, proveniente de la planta de inyección B2) que sirve de soporte y de anclaje al chasis del coche, se suelda en la máquina *Hot Plate Welding* con otra pieza de plástico inyectada que son los conductos de ventilación.
11. Se suelda el sustrato hasta ahora procesado con el IP Carrier (proveniente del proceso 10) por soldadura de infrarrojos. Estas dos piezas se sueldan en la *IR Welding*.
12. El último puesto del proceso es una inspección del 100% de las piezas. En esta inspección se revisan las soldaduras de los procesos intermedios y se vuelve a revisar la cara vista de la pieza en busca de manchas, rayas, hundimientos, cantos biselados y burbujas. En este punto del proceso la pieza alcanza su máximo valor y no haber detectado defectos en inspecciones anteriores supone un coste muy elevado al tirar la pieza ya que se le ha añadido mucho valor con los procesos y piezas intermedias.

3.2.2.1 El proceso de foamizado y las burbujas

El proceso de foamizado es uno de los más críticos a nivel de producción de defectos.

Este proceso consiste en colocar en el molde superior el sustrato remachado y en el molde inferior la piel cortada (Ilustración 4). Cuando estas dos piezas están correctamente colocadas, el robot entra dentro e inyecta el foamizado (mezcla de polioli e isocianato) en el molde inferior. Estos dos moldes se cierran y la mezcla empieza a reaccionar formando pequeñas burbujas de gas que mediante un sistema de juntas que tiene el molde son expulsadas. Si las burbujas de gas no son expulsadas correctamente se crean burbujas al solidificar la mezcla.



Ilustración 4. Molde de foamizado inferior con la piel (izquierda) y molde superior con el sustrato (derecha).

Estas burbujas no se ven a simple vista, ya que están en el interior de la pieza y sólo pueden ser detectadas a través del tacto. El operario, una vez la pieza sale del molde foamizada, palpa toda la superficie de todas las piezas detectando posibles burbujas que pueda haber en la pieza.

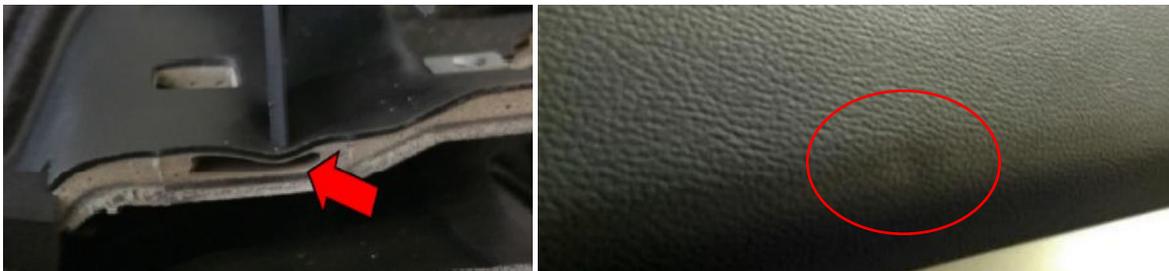


Ilustración 5. Burbuja de aire atrapada dentro de la pieza (izquierda) y burbuja visible en la cara exterior (derecha).

Aunque el proceso de producción del foamizado está muy optimizado y durante los años de producción de este producto se ha reducido el porcentaje de burbujas, erradicar la aparición de este defecto no es posible por el proceso químico que se produce y, por lo tanto, eliminar la inspección del 100% de las piezas no es factible.

Este proyecto se centra en optimizar el método de inspección del 100% de las piezas en el primer punto de revisión. Es muy importante optimizar el proceso en el que se genera el defecto, ya que, en este punto, a una pieza defectuosa, si se detecta correctamente, no se le va a añadir valor y por lo tanto se ahorrarán costes y mejorará la calidad.

3.2.3 Características críticas o de seguridad (CC) en el IP

Una característica crítica o de seguridad es una condición en una pieza o proceso que se tiene que cumplir obligatoriamente en el producto. Si no se cumple la condición pone en riesgo la seguridad del vehículo y por consiguiente la seguridad del conductor y los pasajeros.

En el peor de los casos, si llega una pieza defectuosa a cliente con alguna de las CC afectadas se llamaría a revisión (*recall*) todo un lote de coches y el coste ocasionado correría a cargo del proveedor de la pieza. Esto ocasiona una pérdida de confianza hacia la marca y la empresa podría acabar en bancarrota.

El proceso de producción del IP contiene muchas características de seguridad ya que el salpicadero es una pieza crítica por contener el airbag.

Una de las características de seguridad que debe cumplir el salpicadero es que durante el proceso de foamizado no haya presencia de burbujas en la zona del airbag. Si en algún momento de vida del vehículo salta el airbag y hay burbujas en esa zona, la fuerza de la expulsión de la bolsa podría proyectar partículas de foam a altas velocidades y causar lesiones graves a los usuarios del vehículo. Por esta razón es imprescindible que la masa de foam de la zona del airbag pasajero sea totalmente uniforme y homogénea, es decir, libre de burbujas que restarían uniformidad en la pieza.

Además de una característica crítica, una burbuja es un defecto visual en cualquier otro lado de la pieza y podría llegar a pedirse la garantía del coche si llega el defecto al cliente final.

4. OBJETIVO Y PLAN DE TRABAJO

El objetivo de este Trabajo Fin de Máster consiste en reducir los costes directos e indirectos de producción de la línea de IP. Uno de los modos para alcanzar este objetivo es reduciendo el tiempo de inspección por pieza y mejorando la calidad de la pieza, lo cual reduce el COPQ.

Este objetivo se va a conseguir utilizando un sensor térmico en el primer puesto de inspección de modo que el defecto se detecta en el punto del proceso donde se produce. Esto es muy importante ya que detectar el defecto cuanto antes es clave para no añadir valor a una pieza que va a acabar en la basura. De este modo se tira la pieza en un punto del proceso temprano y no cuando tiene un valor y coste mayor.

El plan de desarrollo del proyecto engloba el siguiente escenario:

El proyecto abarca las siguientes etapas:

1. Estudiar y entender el equipo que se va a utilizar para la mejora de la detección del scrap.
2. Estudiar y entender la situación actual de la línea de IP y cuantificar el scrap que se produce entre otros.
3. Estudiar y entender si la línea de producción actual cumple con las condiciones de funcionamiento del equipo de detección.
4. Estudio de la factibilidad a nivel financiero para ver la rentabilidad del equipo. Se realiza un *business case*.

5. DESARROLLO DEL PROYECTO DE MEJORA

A continuación, se desarrollan los pasos para la implementación del equipo de detección. El proyecto comienza con el estudio de factibilidad del equipo para ver el potencial porcentaje de mejora que puede alcanzar hasta la implantación del equipo dentro del flujo productivo y el posterior análisis de los resultados obtenidos y el ahorro real conseguido.

Para realizar una primera toma de contacto con el equipo, se pidió al proveedor de la cámara que facilitara a la planta un prototipo del equipo para que se pudiera empezar a usar en la línea de producción y empezar a recoger los datos oportunos.

Este equipo consta de un ordenador, una cámara térmica y un soporte para la cámara que se coloca en la parte superior de la mesa de inspección de modo que es capaz de ver el salpicadero entero recién foamizado.

Durante las dos semanas que se va a disponer del equipo se tiene que recoger la siguiente información:

- Entender en qué condiciones y rango de trabajo el equipo detecta las burbujas de forma óptima. Revisar si las condiciones del salpicadero en la salida del molde cumplen con las especificaciones del equipo.
- Calcular el porcentaje de burbujas detectadas en los tres puntos de inspección utilizando el método de palpado por parte del operario.
- Entender qué datos se van a recoger a la salida del proceso de inspección con la cámara de detección y decidir los indicadores que se van a extraer para ver el rendimiento del equipo y diseñar un formato para recoger los datos.
- Hacer el análisis de factibilidad con los datos obtenidos.

5.1 Especificaciones del equipo y condiciones de trabajo

El equipo, que se llama DashboardCheck, es un sistema de inspección online no destructivo y en la cual no se necesita contacto directo con el panel o con cualquier otra pieza foamizada con burbujas.

El equipo usa una cámara de infrarrojos junto con unos algoritmos de procesamiento de imagen que permite la detección de cavidades de aire entre el material (foam).

Este equipo puede ser usado para inspecciones puntuales como también para inspecciones del 100% de las piezas.

El tiempo de procesamiento y medida del equipo está estimado con un tiempo de ciclo de menos de 5 segundos.

5.1.1 Principio de medida del equipo de detección

El equipo DashboardCheck aprovecha la reacción exotérmica que produce la mezcla de polioli e isocianato cuando se ponen en contacto, formando foam. El panel, cuando se extrae del molde de foamizado sale a una cierta temperatura. Esta temperatura de salida es muy importante para conseguir unas buenas condiciones y resultados de inspección y, por lo tanto, la pieza debe llegar al equipo con las condiciones de temperatura óptimas.

Estas condiciones de temperatura son fáciles de conseguir a la salida del molde, pero una vez foamizada la pieza, el operario la deja en una cinta de 6 metros para que la pieza sea transportada hasta la mesa de inspección y el siguiente operario la pueda inspeccionar. Esta cinta actúa de *buffer* intermedio (o stock intermedio) en la que siempre se inspecciona siguiendo FIFO, de modo que la cinta se puede llenar de piezas y no se saturarían el resto de los procesos posteriores.

La temperatura de la pieza en el puesto de inspección depende de varios factores como:

- Tiempo de inspección de la pieza inmediatamente anterior. Cuanto más tiempo tarde el operario para chequear la pieza, más tiempo va a estar la siguiente pieza esperando en la cinta y, por lo tanto, más fría estará la pieza en el momento de inspección. Es muy importante estandarizar la inspección de modo que se tarde siempre el mismo tiempo en inspeccionar y así poder optimizar la temperatura de llegada a la mesa. Hay que tener en cuenta que el proceso de foamizado es continuo, sin paros y con un tiempo de ciclo constante, por lo que es fundamental que el tiempo empleado en el puesto de trabajo posterior (inspección de foamizado) sea como máximo igual al tiempo de máquina.
- El número de piezas que haya en el *buffer* (cinta de transporte). Este número depende de las paradas que tengan los procesos anteriores y/o posteriores. Cuantas más piezas estén en la cinta esperando a ser chequeadas, más frías van a estar éstas últimas. Es importante tener este *buffer* para que las paradas de procesos anteriores o posteriores no influyan en toda la línea productiva. Asimismo, es importante seguir el proceso de inspección a partir de FIFO para que la temperatura de llegada sea lo más estable en todas las piezas.
- La temperatura de la planta. El equipo de foamizado desprende mucho calor y los operarios tienen salidas de aire acondicionado en sus puestos de trabajo y encima de la cinta. Esta salida de aire se puede regular para conseguir la temperatura óptima siempre y cuando no se vean afectadas las condiciones de trabajo de los operarios.

El inicio de la inspección puede empezar automáticamente o por el operario pulsando el botón de “start” después de que la pieza esté colocada en la mesa de inspección. Después, el comportamiento de enfriamiento se graba en el sistema durante un tiempo de 2 a 5 segundos.



Ilustración 6. Detalle de la cámara de detección de burbujas (izquierda) y estación de inspección de foamiado con la cámara montada arriba (derecha).

Cuando la medida ha acabado, la imagen resultante aparece en el monitor del equipo donde las cavidades de aire se pueden identificar fácilmente por el operario. El contraste de las burbujas de aire se define por los algoritmos post-procesamiento altamente optimizados. Ese contraste depende de la profundidad en la que estén las burbujas y según lo cercanas a la superficie que estén se verán más oscuras o en un tono gris. Esta diferenciación permite una identificación fácil entre los huecos de aire que se encuentran cerca de la superficie, y se pueden definir como burbujas críticas, y las que están en un nivel más profundo, entre el foam, y no son tan críticas.



Ilustración 7. Monitor provisional del prototipo para visualizar la pieza que se está inspeccionando.

En la *Ilustración 6 y 7* se muestra el prototipo de detección de burbuja que el fabricante del equipo deja a la compañía para poder probar primero si el equipo es adecuado para la planta de producción y obtiene resultados satisfactorios.

En la pantalla del equipo de detección de burbujas, el operario es el que tiene que entrenar la vista y detectar si la pieza tiene burbujas y en qué zona. En esta pantalla, *la imagen 8 y 9* muestran un ejemplo de cómo se muestran las burbujas en el monitor:

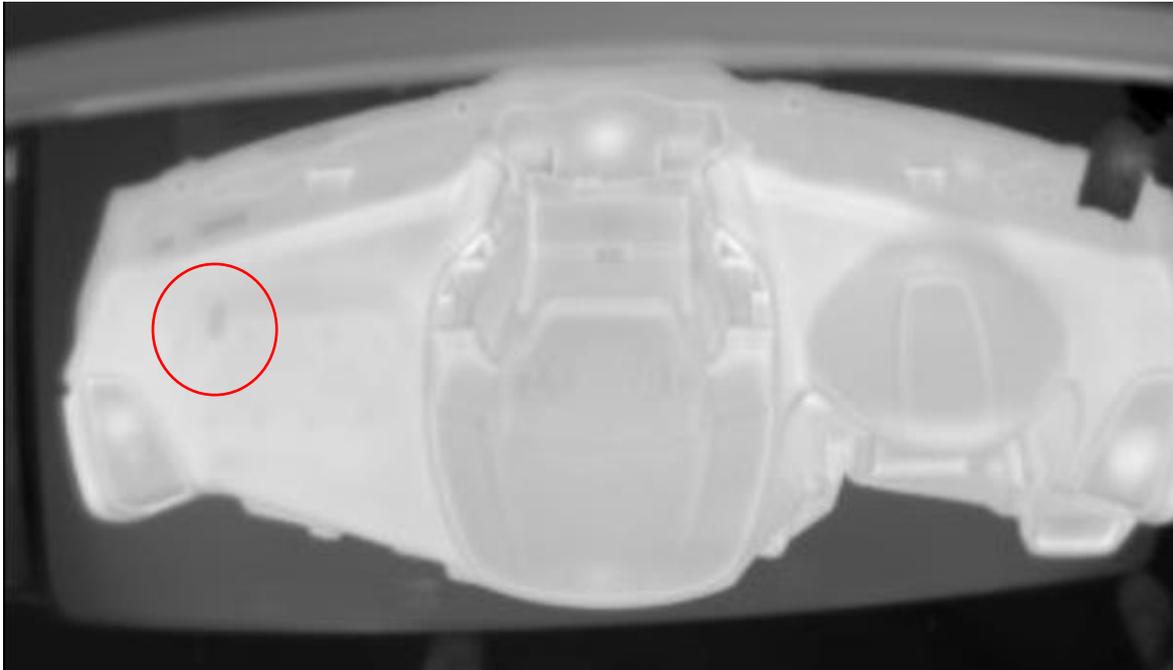


Ilustración 8. Imagen térmica de un IP C520 con burbuja en la zona del airbag.

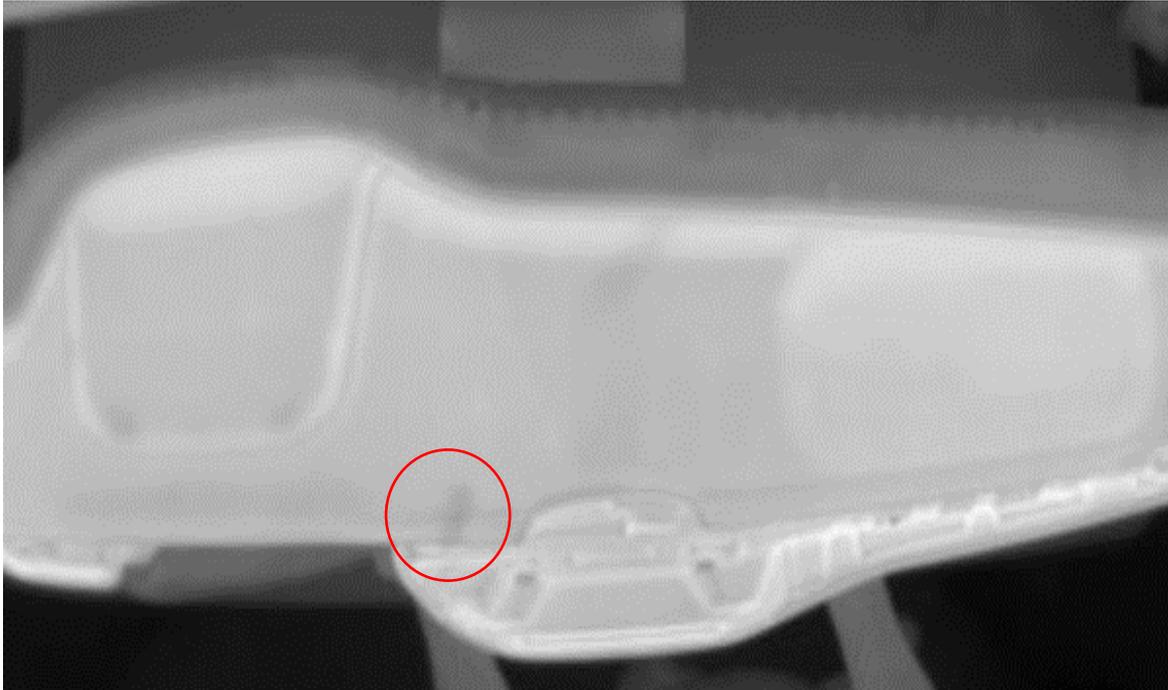


Ilustración 9. Imagen térmica de un IP C482 con burbuja en zona central.

La criticidad se define simplemente por el aspecto visual, ya que, si están en la superficie o cerca de ella, pueden ser visibles a simple vista y se detecta como un hundimiento en la pieza. Estas piezas serían rechazadas por el cliente final y reemplazadas.

Se debe comprobar que el salpicadero cumple con las necesidades del equipo en el puesto de inspección.

En la siguiente tabla se resumen las especificaciones del equipo y los detalles técnicos.

<i>Tabla 1. Características y requerimientos del equipo de medida.</i>	
Característica	Requerimiento
Detección de las burbujas	Burbujas cerca de la superficie ($\geq \varnothing$ 5mm en 2 - 3mm de profundidad). Las burbujas con diferente profundidad respecto a la superficie aparecen de diferente tonalidad en el monitor del equipo.
Tiempo de ciclo de inspección	≤ 5 segundos por cada medida más el tiempo necesario para el manejo de la pieza.
Temperatura superficial de las piezas	$\geq 45^{\circ}\text{C}$

Si se analizan los requerimientos del equipo se deben tener en cuenta 3 factores a la hora de implementar el equipo en la propia línea de producción.

- Burbujas cerca de la superficie y mayores de 5mm: Las burbujas que no se encuentran en la superficie de la pieza no son críticas ya que al romper la pieza no proyectan partículas. Por otro lado, el tamaño de la burbuja es otro requerimiento. Con el cliente final se ha

llegado a un acuerdo de no retrabajar (y, por lo tanto, tirar la pieza) aquellas piezas con tamaño de burbuja mayor de 3cm. Que la cámara detecte burbujas mayores a 5mm de diámetro es una condición suficiente, ya que cumple con las necesidades contratadas con el cliente.

- Menos de 5 segundos por inspección de pieza (más posterior manejo de la pieza): Actualmente el tiempo de inspección manual por parte del operario es de 60 segundos realizando el ciclo completo (desde que coge una pieza para inspeccionarla hasta que vuelve al mismo punto y coge la siguiente pieza para, de nuevo, inspeccionarla). El tiempo que actualmente tarda el operario realizando únicamente la acción de inspección del defecto de burbujas es de 20 segundos. Se ve una mejora clara en la productividad de ese puesto de trabajo ya que el tiempo de inspección se reduce drásticamente.
- La temperatura superficial de las piezas tiene que ser mayor o igual de 45°C al llegar a la mesa de inspección ya que si no el equipo no asegura la detección de burbujas (*Ilustración 10*): Para asegurar que las piezas cumplen con ese requisito se van a tomar medidas de la temperatura de las piezas una vez llegan a la mesa de inspección para comprobar si es una medida estable, a qué temperatura llegan y la velocidad de enfriamiento de las piezas. Las medidas se realizan con un pirómetro siempre en el mismo punto del proceso (mesa de inspección) y siempre en la misma zona de la pieza.

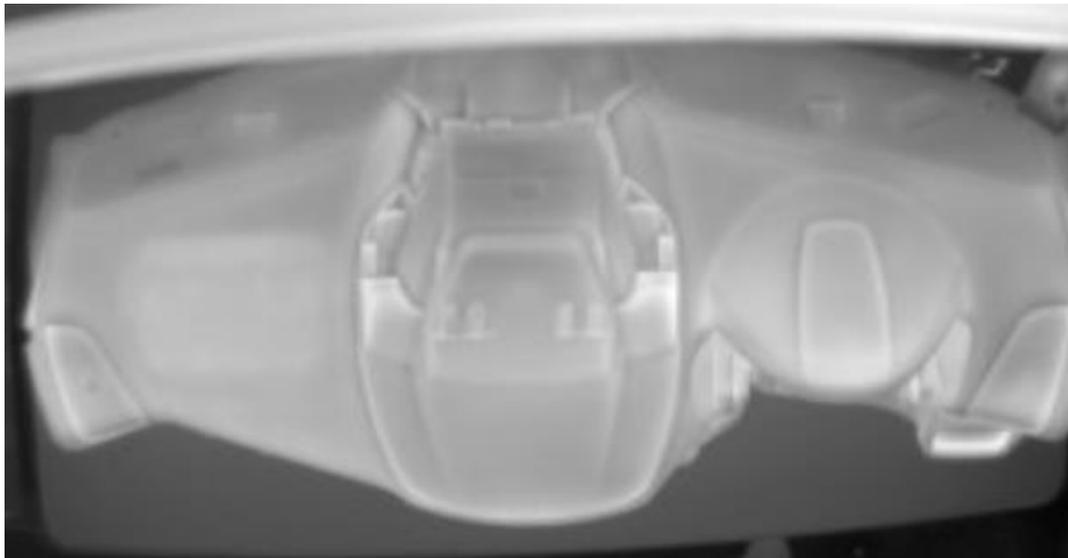


Ilustración 10. Imagen térmica de una pieza fría.

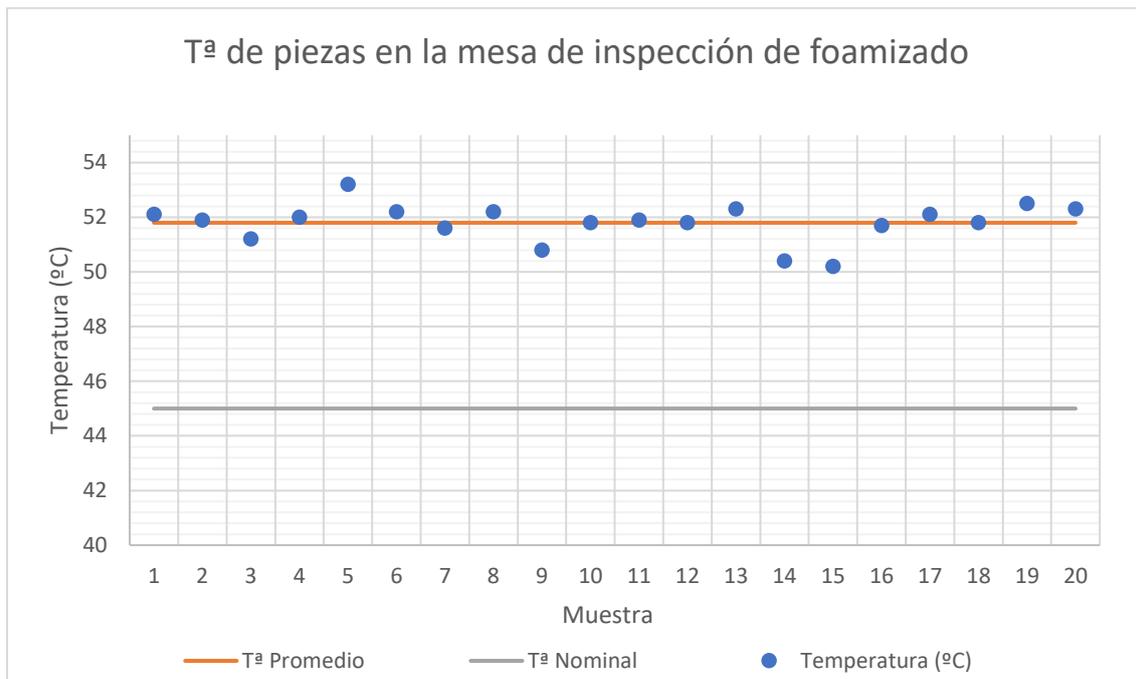


Gráfico 1. Valores de medición de la temperatura a la salida de la estación de foamizado.

Como se ha podido comprobar en el Gráfico 1, el último requerimiento también se cumple ya que las piezas llegan a la mesa de inspección con una temperatura adecuada para su inspección y con un margen de 6 grados que permite esperas y demoras en el puesto de chequeo.

Estos datos se han tomado de una muestra de 20 piezas repartidas en varios turnos de producción y con varios operarios chequeando las piezas, ya que se ha tenido en cuenta que la velocidad y la experiencia del operario influyen directamente en la temperatura a la que llegan las piezas a la mesa de inspección.

Con este análisis se concluye que, tanto a nivel técnico como de requerimientos, el equipo cumple con las necesidades de producción. No hace falta modificar ningún parámetro o *layout* para la implantación de la cámara térmica.

5.2 Cálculo del porcentaje de burbujas detectadas en las 3 inspecciones usando el método actual de inspección

Todos los días, los *team leaders*, que son los jefes de equipos responsables de la producción y de los operarios, recaudan toda la información relacionada con la producción. Esta información son los motivos de scrap de una pieza, los motivos de retrabajo, las paradas de máquinas... en definitiva, la eficiencia y la calidad del proceso.

Para determinar la mejora introducida por la cámara de detección de burbujas, es imprescindible conocer la situación actual de la línea de producción y el nivel de detección de burbujas que hay actualmente en las estaciones de inspección. Para ello, el trabajo de recaudación de datos de producción de los *team leaders* es fundamental.

A continuación, se muestran los datos de producción obtenidos con el método de chequeo actual a partir del palpado de la pieza entera por 3 operarios diferentes en 3 puntos diferentes de inspección. Estos datos comprenden el periodo entre la primera semana del 2019 y la semana 31 del 2019.

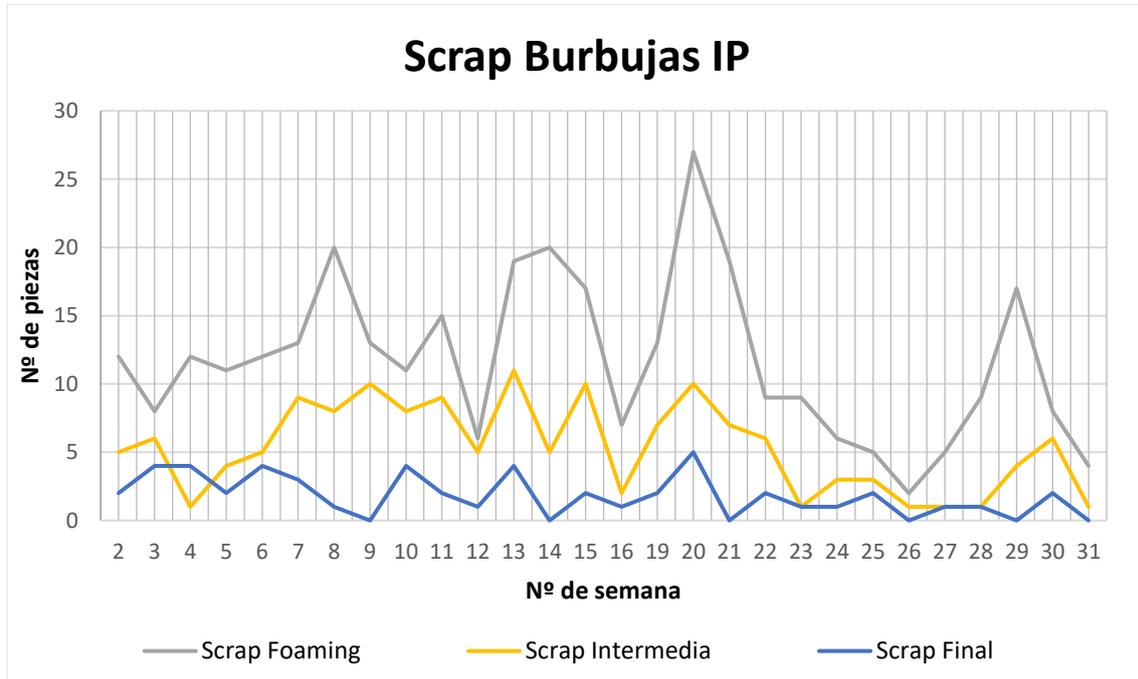


Gráfico 2. Número de piezas con burbujas que deben ser tiradas a la semana según las 3 inspecciones.

En la *Gráfica 2* se muestra la cantidad de piezas con burbujas que no se pueden retrabajar y, por lo tanto, se tienen que tirar, que se detectan por semana. Se dividen en los diferentes chequeos que hay a través de la línea de producción (inspección de foaming, inspección intermedia e inspección final). Como se puede observar, en la primera inspección, que es donde se produce el defecto, es el punto donde más piezas se detectan. Este proyecto tiene como objetivo maximizar el número de piezas con burbujas que se detectan en la primera inspección de modo que, si hay que tirar la pieza, ésta no tiene tanto valor añadido como en las siguientes inspecciones.

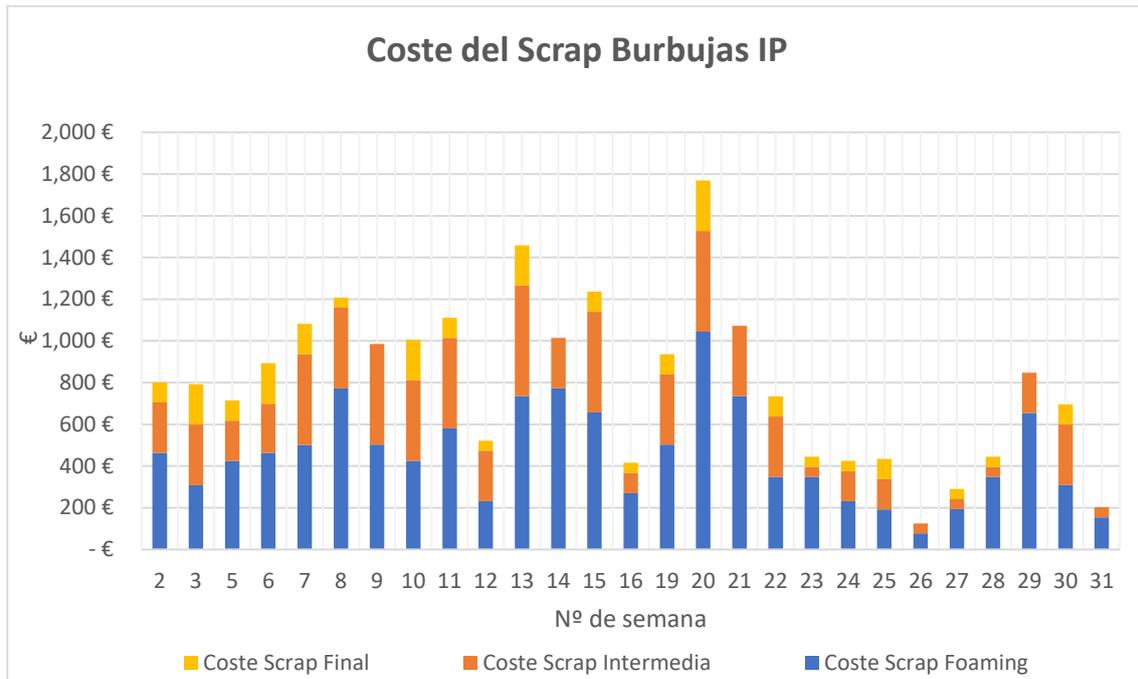


Gráfico 3. Coste de las piezas tiradas por defecto de burbujas en cada una de las tres inspecciones.

En el *Gráfico 3* se cuantifica el impacto que supone a nivel de coste tener este defecto. Como en la primera inspección es donde más piezas se detectan y se tiran, es donde se asume un mayor coste, pero en relación, tirar piezas en las siguientes estaciones es más caro que tirarlas en la primera.

En el *Gráfico 3* se observa una variabilidad de piezas detectadas a la semana alta. Esto no es sólo debido a la habilidad del operario, sino que muestra la variabilidad de calidad que presenta el proceso de foamizado. En este proceso existen 8 moldes de foamizado, de los cuales, a la vez, pueden estar en funcionamiento 7 de ellos. Aunque son iguales, tienen una variabilidad inherente a cada molde que provoca una inestabilidad en el proceso. Durante todo el ciclo de vida de estos moldes, se han hecho estudios para detectar la variabilidad y reducirlas al mínimo. Esta gráfica muestra una pincelada de la complejidad del foamizado.

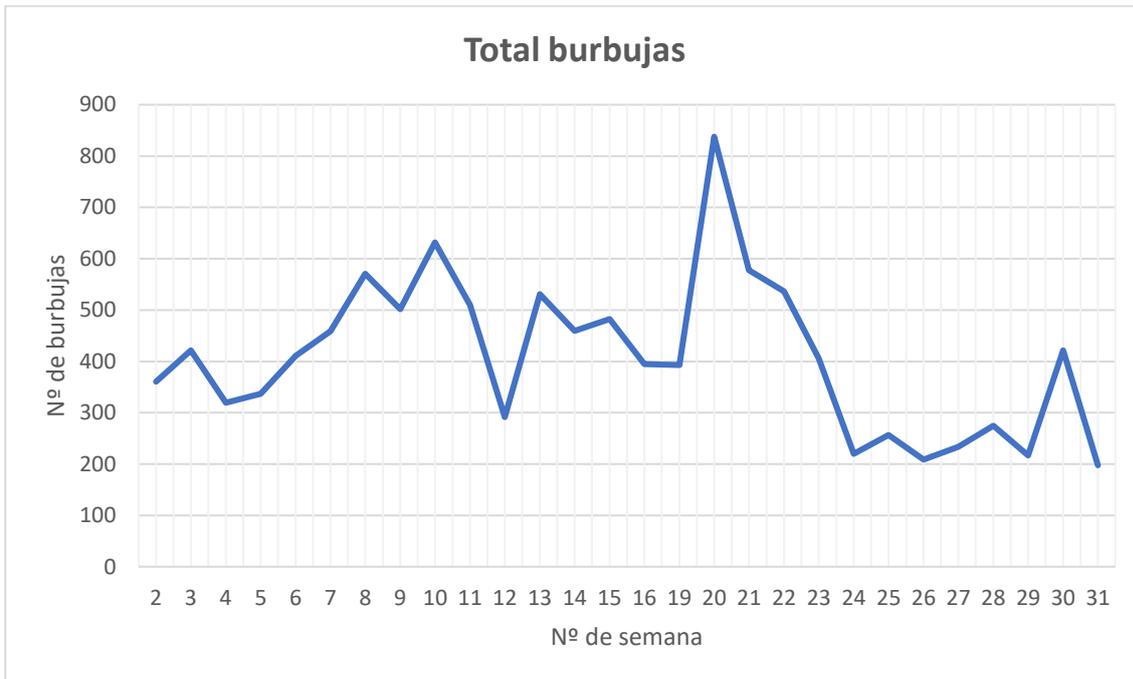


Gráfico 3. Número de burbujas detectadas por semana.

En el Gráfico 4 se ilustra el número de burbujas detectadas en las tres estaciones en cada semana. En esta gráfica no discrimina entre las piezas que se han tirado y las que se han retrabajado, ni tampoco en qué estación se ha detectado.

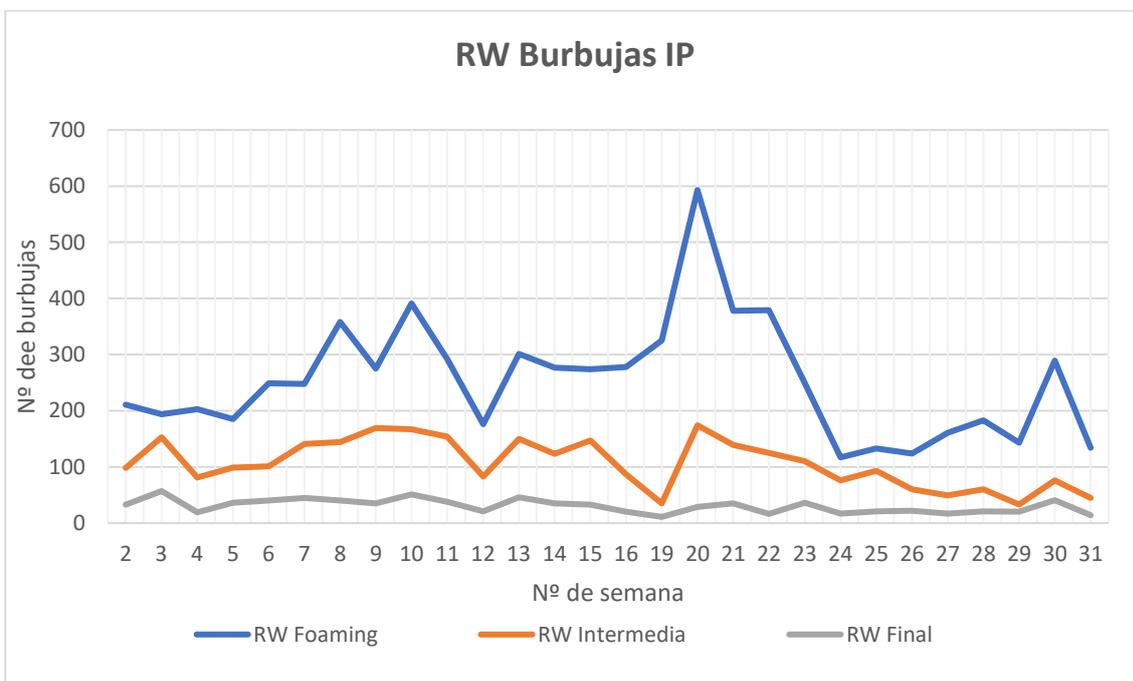


Gráfico 5. Número de burbujas retrabajadas a la semana.

En el *Gráfico 5* se muestran la cantidad de burbujas que se han retrabajado semanalmente en las tres inspecciones. Indica que no aparece una burbuja por pieza, sino que cuando aparece este defecto en una pieza no lo hace de forma única. Otro de los costes asociados es retrabajar una pieza con burbuja y en las siguientes inspecciones detectar otra burbuja por la cual la pieza se tiene que volver a retrabajar o directamente, tirar.

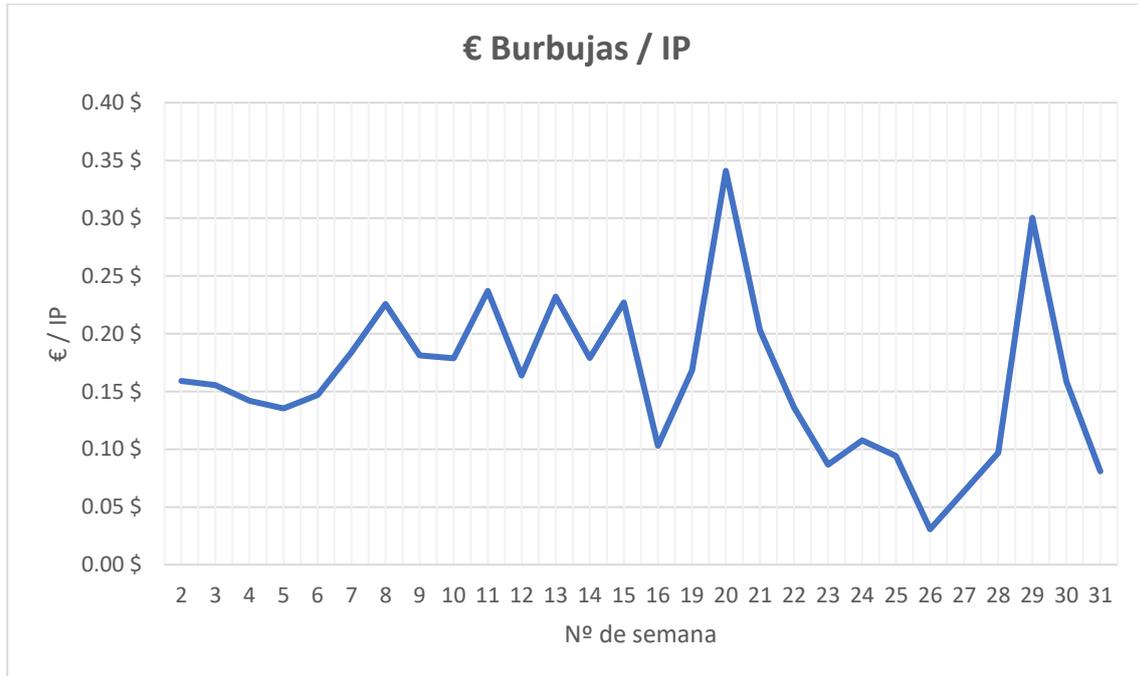


Gráfico 6. Coste semanal que implica la detección de una burbuja por cada IP vendido.

En la *Gráfica 6* se define el coste que la empresa deja de ganar por pieza que vende, ya que tiene unos costes asociados a defectos. Por cada burbuja que aparece, la empresa pierde 0,16€ de media en cada salpicadero que vende. Dentro de este cálculo se incluyen las piezas de scrap, el coste de tener 2 personas retrabajando las burbujas y el coste asociado a movimientos extra de operarios por piezas defectuosas. Este es el coste asociado únicamente a este defecto lo que indica el elevado impacto que tiene este defecto en el salpicadero. Hay que tener en cuenta que el sector de automoción es un sector muy competitivo con unos costes de producción muy ajustados, de ahí la importancia de reducir el impacto.

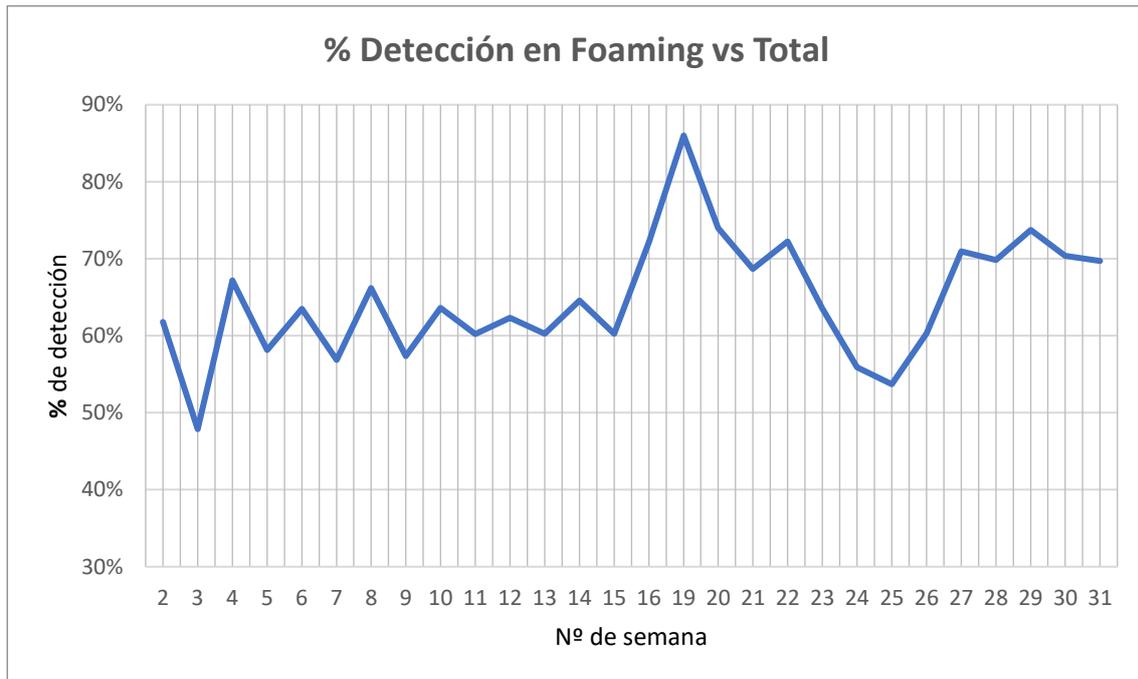


Gráfico 7. Porcentaje de detección de burbujas en la inspección de foamizado vs el total detectadas.

El Gráfico 7 muestra el porcentaje de piezas que se detectan en la primera inspección (inspección de foamizado) versus el total de inspecciones. Se puede comprobar que es la inspección en la que más piezas con burbuja se detecta, pero aún así hay mucho margen de mejora, ya que idealmente este porcentaje debería ser del 100%. Es decir, todas las piezas con burbuja se detectan en la primera inspección, el punto del proceso en el que se produce este defecto.

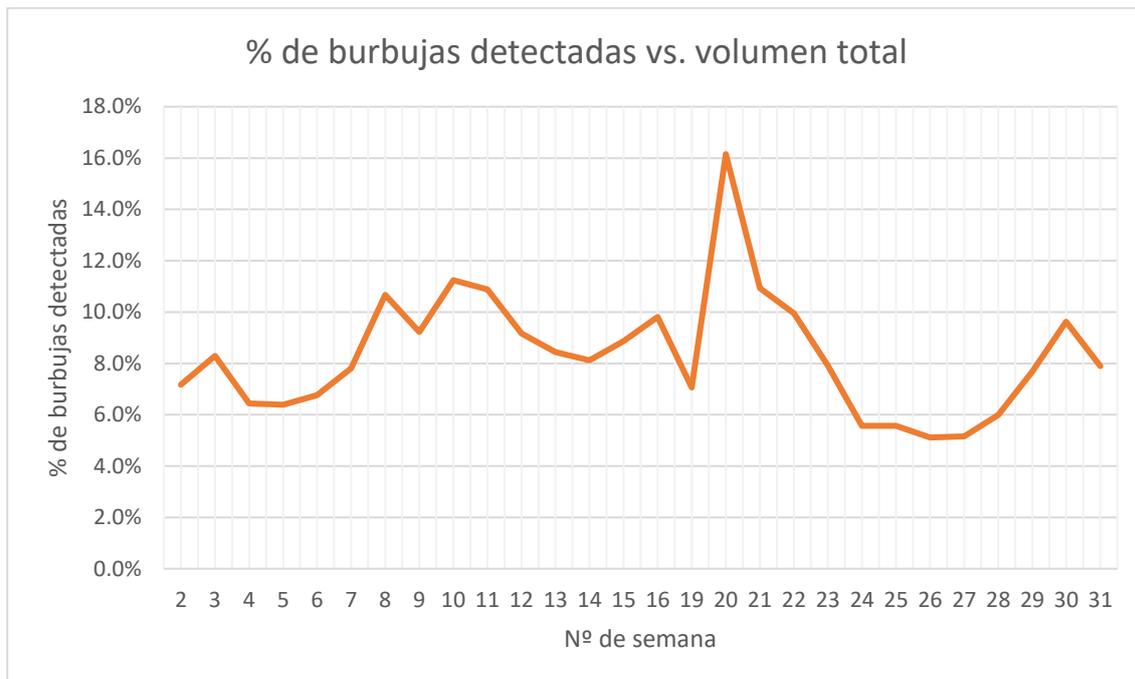


Gráfico 8. Porcentaje de burbujas detectadas versus el volumen total de IPs producidos.

El Gráfico 8 indica que, de media, un 8,4% de los salpicaderos son detectados con el defecto de burbuja. Es el defecto con un mayor peso de toda la línea de producción del salpicadero. Siempre que haya un proceso de foamizado va a existir este defecto, por este motivo se ha creado este proyecto de mejora.

5.3 Factibilidad financiera y amortización del equipo. *Business case.*

Para que el departamento financiero de la empresa acepte el presupuesto del nuevo equipo se tiene que realizar un *business case* y así demostrar con datos que el equipo es económicamente rentable. También es necesario calcular un tiempo de amortización del equipo.

Primero de todo se tiene que definir de forma exacta la situación actual de la línea: el número de operarios que se necesitan para realizar las tareas de inspección, el tiempo de chequeo necesario para detectar las burbujas, los costes por operario, los COPQ (Cost of Poor Quality) asociados a reclamaciones del cliente y a reclamaciones a nivel interno, los costes de scrap y el volumen de coches esperado para los siguientes años

5.3.1 Situación actual de la inspección en la línea de producción

Este es el paso de la pieza por toda la línea de producción desde el inicio hasta el fin, pasando por las tres inspecciones.

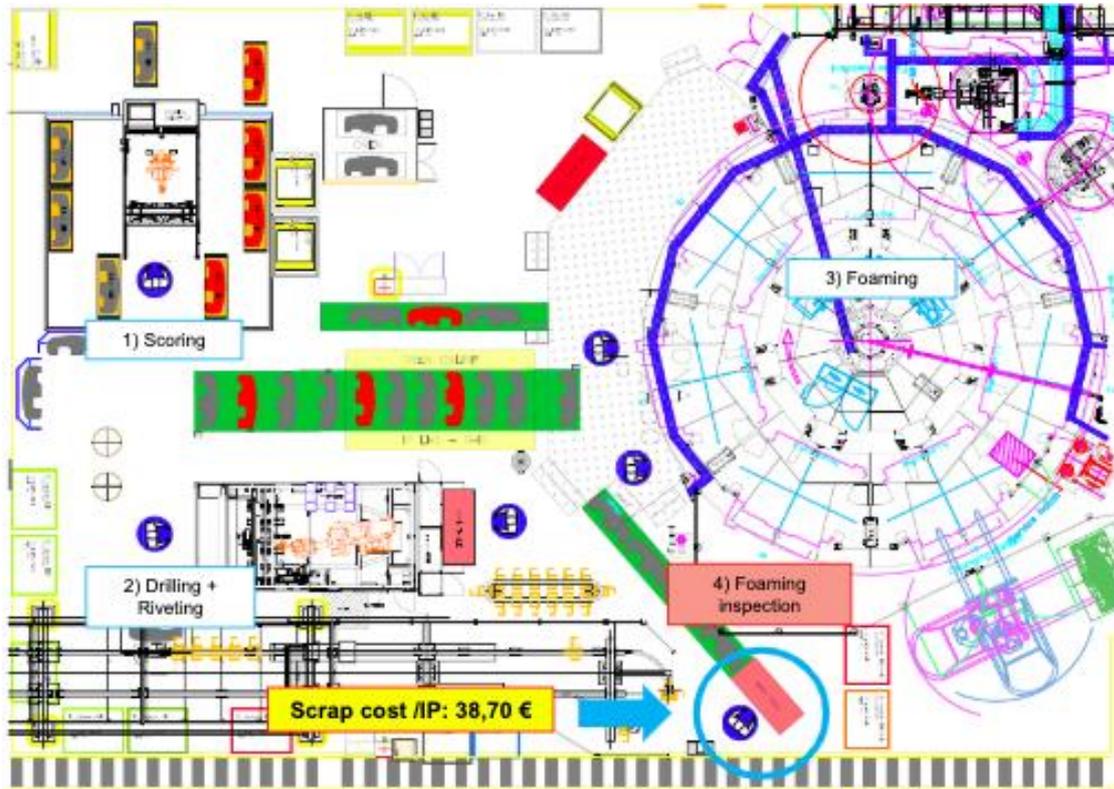


Ilustración 11. Layout de la línea de producción de foamizado del IP

Como se observa en la *ilustración 11*, según los datos aportados por la empresa, la piel, después de pasar por el proceso de Scoring, el sustrato, después de pasar por el proceso de Riveting y el conjunto de piel con sustrato, después de pasar por el foamizado y el proceso de inspección, tiene un coste de 38,70€/pieza.

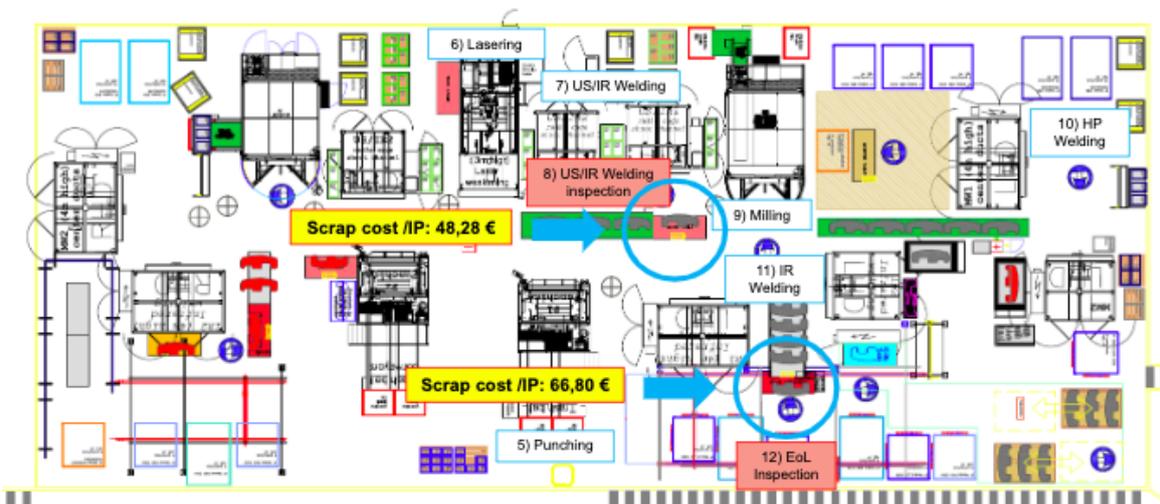


Ilustración 12. Layout de la línea de producción de soldadura del IP.

La *imagen 12* indica la segunda parte de la línea de producción, la línea de soldadura, en la cual se muestra el coste del salpicadero después de haber pasado por los procesos de Punching, Lasering, US/IR Welding e inspección intermedia, que es 48.28€/pieza. Los procesos posteriores, los cuales son Milling, Hot Plate Welding, IR Welding y la inspección final, añaden un coste final al salpicadero de 66.80€/pieza. Todos los precios que tiene el salpicadero durante las diferentes etapas del proceso son dados por la empresa.

5.3.2 Cálculo del contenido de trabajo en la inspección

5.3.2.1 Método de inspección manual

El siguiente paso es definir el contenido de trabajo total con respecto a la detección de burbujas en las tres inspecciones. Este cálculo se puede hacer mediante el método de MTM o MODAPTS que son dos métodos para determinar el contenido de trabajo de forma teórica o mediante el método de medición por cronómetro de forma empírica.

El objetivo del estudio de tareas es eliminar o mejorar elementos innecesarios que podrían afectar negativamente a la productividad, calidad, y seguridad de la producción. Un estudio de tiempos consiste en la determinación del tiempo que requiere completar un proceso, actividad, tarea o movimiento específico (Van Aken *et al.*, 2018)¹⁰. A pesar de la pérdida de popularidad de los estudios de tiempos y movimientos a final del siglo XX (Adler *et al.*, 1993)¹¹, éstos han recuperado su uso y son ahora una herramienta esencial para el análisis y mejora de los procesos de producción (Abbas *et al.*, 2016)¹², (Vijai *et al.*, 2017)¹³.

Como el proceso de inspección se compone de muchas pequeñas acciones y, a pesar de estar estandarizado el proceso y la ruta de inspección, cada operario coloca las manos de forma diferentes y hace unos movimientos diferentes, el método que más se acerca a describir la realidad es utilizar el cronómetro y medir a varios operarios en varios momentos del día y en diferentes turnos y días para conseguir una muestra lo más variada posible y que englobe la totalidad de las condiciones de los operarios (hombres, mujeres, experimentados, sin experiencia, zurdos, diestros, a principio del turno, al final del turno...). Para ello se tomaron tiempos durante dos semanas en los tres turnos de producción y en diferentes horarios. Los resultados son los siguientes:

Tabla 2. Método de inspección actual. Tiempo medio que se tarda detectando burbujas.

Puesto de inspección	Foamizado	Intermedia	Final
Tiempo (s)	20	20	20
Imagen			

Así, se puede asegurar que la media de tiempo utilizado únicamente para la detección de burbujas en las inspecciones es de 20 segundos por pieza. Sin tener en cuenta otras actividades que se realizan en estos puestos como coger y dejar la pieza, probar galgas, detectar manchas...

5.3.2.2 Método de inspección con cámara térmica

Uno de los objetivos a la hora de implantar el nuevo método de inspección es reducir el contenido de trabajo relacionado con la inspección de burbujas y así poder ahorrar costes. Estos costes pueden ser reducir el número de operarios de la línea de producción, aumentar la producción manteniendo el mismo número de operarios o dedicar el tiempo ahorrado a otras acciones necesarias en la línea de producción.

Con el prototipo de cámara que está en la línea de producción se ha cronometrado el tiempo que se tarda en revisar este defecto con la nueva cámara de burbujas. Para tomar estos tiempos también se han tomado tiempo a diferentes operarios con diferentes condiciones (con experiencia, sin experiencia, zurdos, diestros...), en diferentes turnos productivos y en diferentes horarios. Como se puede ser en la *tabla 3*, el tiempo medio de revisión de las burbujas es de 20 segundos. Hay que tener en cuenta que, aunque las especificaciones del equipo resumen el tiempo de detección en 5 segundos, el mayor tiempo se está consumiendo en revisar el monitor para detectar las burbujas ya que los operarios se deben entrenar con la práctica y una vez experimentados, reducir el tiempo de inspección.

Con estos resultados se puede mantener la inspección de burbujas en la primera inspección y eliminar la inspección de burbujas en la segunda y tercera inspección, suponiendo así un ahorro de 40 segundos productivos.

Puesto de inspección	Foamizado	Intermedia	Final
Tiempo (s)	20	20	20
Imagen			

La reducción de estos 40 segundos de contenido de trabajo se puede traducir en coste.

Año	€/h	€/s
FY19	20,32934	0,00565
FY20	20,73592	0,00576
FY21	21,15064	0,00588
FY22	21,57366	0,00599
FY23	22,00513	0,00611

En la *Tabla 4* se tiene en cuenta que los sueldos aumentan un 2% cada año, por ese motivo el precio por hora que cobra un operario en 2019 no es el mismo que en el año 2023. Los datos están cedidos por la empresa.

En la *Tabla 5* se resume el coste en las dos configuraciones. Si se multiplica los segundos que se tarda en detectar burbujas por un IP y se multiplica por el volumen esperado de IPs al año, se obtiene el coste invertido en detección de burbujas. Hay que tener en cuenta que en la configuración actual los segundos de detección son 60 (20 segundos por 3 inspecciones). A este valor hay que añadir el coeficiente de fatiga (un 15%). Este coeficiente de fatiga se negocia con los sindicatos para poder aplicar el método de toma de tiempo (en los métodos de tiempos teóricos el coeficiente de fatiga va incluido).

De esta forma, aplicando el coeficiente de fatiga en las dos configuraciones, el tiempo de detección de burbujas para la configuración actual es 69 segundos y para la nueva configuración es 23 segundos.

<i>Tabla 5. Labour saving con los modelos de fabricación actual y futuros</i>							
Año			FY19	FY20	FY21	FY22	FY23
Modelo fabricación			C344 & C520	C520 & C482	C482	C482	C482
Volumen de IP total esperado			190706	213021	211457	207685	207685
Coste detección burbujas	Configuración actual (20sx3=60s/IP)	Coeficiente fatiga = 15%	74.308 €	84.663 €	85.722 €	85.877 €	87.594 €
	Dashboard check system (20s/IP)	Coeficiente fatiga = 15%	24.769 €	28.221 €	28.574 €	28.626 €	29.198 €
Labour Saving (€/año)			49.539 €	56.442 €	57.148 €	57.251 €	58.396 €

5.3.3 Impacto ergonómico en la inspección manual

Otro de los puntos para tener en cuenta es el impacto ergonómico que tiene el actual sistema de inspección. El equipo de Seguridad y Salud de la empresa realiza estudios acerca de todos los puestos de trabajo y los valores de la empresa impulsan firmemente la implantación de métodos de trabajo ergonómicos y a denunciar aquellas tareas que puedan llegar a perjudicar el bienestar físico de los trabajadores. Este estudio se llama PEIL (*Potential Ergonomics Issues List*) y trata de listar todas las tareas que se realizan en un puesto de trabajo, el potencial problema que podría generarse de la realización de este movimiento concreto y la parte del cuerpo afectada. Después se realiza un análisis de riesgo en el que se tiene en cuenta la repetición de la tarea, la fuerza que se ejerce y la postura. De ese análisis de riesgo se extrae la prioridad de mejorar o no la ergonomía de una actividad, las acciones que se toman para mejorarla y se vuelve a realizar el PEIL para ver si las medidas tomadas han dado resultado.

Este es un punto muy importante para la empresa, ya que tener puestos de trabajo con riesgos ergonómicos supone el descontento para los operarios, que la actividad se realice incorrectamente y el coste que supone tener que formar a otro operario en caso de tener a un operario de baja.

Este es el PEIL de la inspección de burbujas:

Tabla 6. PEIL del método de inspección del IP

Hazard Identification				Risk Assessment				Operational Controls	
Estación	Tarea	Potencial problema	Parte el cuerpo afectada	Repetición	Fuerza	Postura	Prioridad	Acciones recomendadas	Responsable
ODS INSP 150	Coger pieza y llevarla a la mesa	Tendinitis	Hombro	M	B	M	B	Formación posturas adecuadas. Rotación puesto de trabajo.	Team Leader / Coordinador
ODS INSP 150	Revisar pieza	Epicondilitis	codo, antebrazo	M	B	H	M	Formación posturas adecuadas. Rotación puesto de trabajo.	Team Leader / Coordinador
ODS INSP 150	Comprobar piezas	Tendinitis	muñeca	M	M	M	M	Formación posturas adecuadas. Rotación puesto de trabajo.	Team Leader / Coordinador
ODS INSP 150	Señalar zonas	Tendinitis	muñeca	M	B	M	B	Formación posturas adecuadas. Rotación puesto de trabajo.	Team Leader / Coordinador
ODS INSP 150	Leer código	Tendinitis	muñeca	M	B	M	B	Formación posturas adecuadas. Rotación puesto de trabajo.	Team Leader / Coordinador
ODS INSP 150	Imprimir etiqueta y validación pieza en	Tendinitis	hombro	M	B	H	M	Formación posturas adecuadas. Rotación puesto de trabajo.	Team Leader / Coordinador

	pantalla								
ODS INSP 150	Llevar a rack final con ingrávigo	Tendinitis	hombro	M	B	M	B	Formación posturas adecuadas. Rotación puesto de trabajo.	Team Leader / Coordinador

Como se puede observar en la *Tabla 6*, la revisión de la pieza es una actividad con un potencial riesgo ergonómico alto tanto en el codo como en el antebrazo. Además, esta actividad se encuentra en 3 puntos diferentes del proceso, por lo tanto, cualquier esfuerzo para eliminar esta actividad impacta directamente en 3 estaciones.

5.3.4 Costes asociados a la baja calidad en el cliente (COPQ)

Para realizar este estudio se van a recopilar todas las incidencias que se detectaron en el cliente (tanto cliente final como cliente intermedio) y que llevaron asociados unos costes. Estos costes son los asociados a:

- La revisión de todo el stock en el almacén:
 - Movimientos extras de carretilleros
 - Operarios revisando el 100% de las piezas
 - Técnicos de calidad haciendo auditorías de producto aleatorias para asegurar la revisión de las piezas.
- La revisión de todo el stock intermedio entre la planta de Almussafes y el cliente final:
 - Trasladar a un operario para que revise el stock en el almacén de otro proveedor.
 - Coste del operario revisando el 100% del stock
 - Trasladar a un técnico de calidad para validar la revisión
- La revisión extra en el almacén de expediciones durante una semana para asegurar que no se repite el defecto
 - Para evitar que otra pieza se vuelva a detectar en el flujo de montaje del cliente, se pone a un operario extra (7 días a la semana / 3 turnos al día) para revisar el 100% de las piezas buscando únicamente este defecto fuera del flujo de producción.
- El coste por la reposición de las piezas
 - Las piezas defectuosas se detectan en la pista de defectos. Una vez acabado el coche, se llevan uno a uno a la pista de defectos. La pista de defectos es una pista de circulación especial donde se revisan todas las

piezas, y sus posibles defectos, con la luz adecuada y se pone en circulación para poder oír cualquier mal montaje.

Reemplazar un salpicadero ya montado supone un coste de 250€ por pieza ya que se tiene que desmontar toda la eléctrica del vehículo y los sistemas de seguridad del chasis.

<i>Tabla 7. Rechazos externos del salpicadero durante el 2019</i>			
Fecha	Problema / Riesgo	Medidas de contención	Coste
9-ene.-19	Detectado en cliente intermedio IP welded LHD con burbuja visible tras proceso de forrado	Revisión de stock empresa.	3.330,00 €
		Revisión de stock cliente intermedio.	
		Revisión extra en Expediciones empresa (2 operarios / 7 días)	
		Reposición de piezas (250euros/pz)	
12-mar.-19	Detectado en cliente intermedio IP welded LHD con burbuja visible tras proceso de forrado	Revisión de stock empresa.	3.330,00 €
		Revisión de stock cliente intermedio.	
		Revisión extra en Expediciones empresa (2 operarios / 7 días)	
		Reposición de piezas (250euros/pz)	
28-mar.-19	Detectado en cliente intermedio IP welded LHD con burbuja visible tras proceso de forrado	Revisión de stock empresa.	3.330,00 €
		Revisión de stock cliente intermedio.	
		Revisión extra en Expediciones empresa (2 operarios / 7 días)	
		Reposición de piezas (250euros/pz)	
9-abr.-19	Detectado en cliente intermedio IP welded LHD con burbuja visible tras proceso de forrado	Revisión de stock empresa.	3.330,00 €
		Revisión de stock cliente intermedio.	
		Revisión extra en Expediciones empresa (2 operarios / 7 días)	
		Reposición de piezas (250euros/pz)	
26-abr.-19	Detectado en cliente intermedio IP welded LHD con burbuja visible tras proceso de forrado	Revisión de stock empresa.	3.330,00 €
		Revisión de stock cliente intermedio.	
		Revisión extra en Expediciones empresa (2 operarios / 7 días)	
		Reposición de piezas (250euros/pz)	
11-jun.-19	Detectado en cliente intermedio IP welded LHD con burbuja visible tras proceso de forrado	Revisión de stock empresa.	3.330,00 €
		Revisión de stock cliente intermedio.	
		Revisión extra en Expediciones empresa (2 operarios / 7 días)	
		Reposición de piezas (250euros/pz)	

10-jul.-19	Detectado en cliente intermedio IP welded LHD con burbuja visible tras proceso de forrado	Revisión de stock empresa.	3.330,00 €
		Revisión de stock cliente intermedio.	
		Revisión extra en Expediciones empresa (2 operarios / 7 días)	
		Reposición de piezas (250euros/pz)	
4-oct.-19	Detectado en cliente intermedio IP welded LHD con burbuja visible tras proceso de forrado	Revisión de stock empresa.	3.330,00 €
		Revisión de stock cliente intermedio.	
		Revisión extra en Expediciones empresa (2 operarios / 7 días)	
		Reposición de piezas (250euros/pz)	
24-oct.-19	Detectado en cliente intermedio IP welded LHD con burbuja visible tras proceso de forrado	Revisión de stock empresa.	3.330,00 €
		Revisión de stock cliente intermedio.	
		Revisión extra en Expediciones empresa (2 operarios / 7 días)	
		Reposición de piezas (250euros/pz)	
		TOTAL:	29.970,00 €

El total del coste de COPQ durante el 2019 es de 29.970,00€ sólo debido a los rechazos externos, como muestra la *Tabla 7*. Todos los costes de revisión de stock en la compañía, revisión de stock intermedio y reposición de piezas están cedidos por la empresa.

5.3.5 Costes asociados al scrap por burbuja

5.3.5.1 Método de inspección manual

El scrap es uno de los indicadores más trazados y analizados en una planta de producción, ya que cualquier desviación de este indicador puede dar información clave sobre una desestabilización en el proceso productivo y tomar acciones correctivas en la mayor brevedad posible. Por este motivo se tiene el detalle del scrap producido día a día y clasificado según cada defecto. A continuación, en la *Tabla 8* se detalla el scrap debido a burbujas por cada una de las tres inspecciones durante el 2019 utilizando el precio/pieza de la *Tabla 9*.

Fecha	Scrap Inspección foaming (€)	Scrap Inspección intermedia (€)	Scrap Inspección final (€)	Total scrap (€)
ene.-19	1.467,97 €	2.317,00 €	965,60 €	4.750,57 €
feb.-19	928,23 €	1.446,00 €	482,93 €	2.857,16 €
mar.-19	1.393,18 €	1.544,97 €	579,30 €	3.517,45 €
abr.-19	579,46 €	772,23 €	289,70 €	1.641,39 €
may.-19	502,72 €	1.351,00 €	191,43 €	2.045,15 €
jun.-19	733,48 €	916,96 €	386,12 €	2.036,56 €
jul.-19	540,42 €	724,07 €	96,46 €	1.360,95 €
ago.-19	347,36 €	386,27 €	193,03 €	926,66 €
sept.-19	928,41 €	820,12 €	434,29 €	2.182,82 €
oct.-19	579,83 €	868,79 €	579,29 €	2.027,91 €
nov.-19	540,86 €	579,39 €	241,31 €	1.361,56 €
TOTAL:				24.708,18 €

En total, se calcula que el scrap producido por burbuja en las tres inspecciones de la línea de producción durante el 2019 asciende a 24.708,18€. Este scrap se ha calculado teniendo en cuenta el nº de piezas que se han tirado en cada inspección y el coste asociado a cada pieza definido en la *Tabla 9* cedidos por la empresa.

Precio pieza foamizada (1ª inspección)	38,70 €
Precio pieza intermedia (2ª inspección)	48,28 €
Precio pieza acabada (3ª inspección)	66,80 €

5.3.5.2 Método de inspección con cámara térmica

A continuación, en la *Tabla 10*, se procede a calcular el scrap que se ahorraría utilizando el método de inspección de cámara térmica. Para realizar este cálculo se tienen en cuenta los datos del scrap producido durante 2019.

Tabla 10. Ahorro que supondría la instalación de la cámara de detección de burbujas

Fecha	Scrap Inspección Foaming	Scrap Inspección intermedia	Scrap Inspección final	Total scrap	Nueva propuesta con Dashboard check.	Piezas intermedias tiradas	Piezas finales tiradas	Cost saving
ene-19	1.467,97 €	2.317,00 €	965,60 €	4.750,57 €	3.355,86 €	48	20	1.394,71 €
feb-19	928,23 €	1.446,00 €	482,93 €	2.857,16 €	2.059,88 €	30	10	797,28 €
mar-19	1.393,18 €	1.544,97 €	579,30 €	3.517,45 €	2.586,32 €	32	12	931,13 €
abr-19	579,46 €	772,23 €	289,70 €	1.641,39 €	1.187,56 €	16	6	453,83 €
may-19	502,72 €	1.351,00 €	191,43 €	2.045,15 €	1.455,53 €	30	5	589,63 €
jun-19	733,48 €	916,96 €	386,12 €	2.036,56 €	1.466,77 €	19	8	569,79 €
jul-19	540,42 €	724,07 €	96,46 €	1.360,95 €	1.044,95 €	15	2	316,01 €
ago-19	347,36 €	386,27 €	193,03 €	926,66 €	663,86 €	8	4	262,80 €
sep-19	928,41 €	820,12 €	434,29 €	2.182,82 €	1.598,98 €	16	9	583,84 €
oct-19	579,83 €	868,79 €	579,29 €	2.027,91 €	1.366,44 €	18	12	661,47 €
nov-19	540,86 €	579,39 €	241,31 €	1.361,56 €	995,49 €	12	5	366,07 €
AHORRO:								6.926,56€

Teniendo en cuenta los datos de 2019, con la cámara de inspección se podría obtener un ahorro de 6.926,56€, lo que supone un 28.03% de ahorro.

5.3.6 Ahorro total durante la vida del proyecto

Para resumir el ahorro que podría suponer la adquisición de este equipo de detección, a continuación, en la *Tabla 11*, se detallan todos los ahorros asociados a los diferentes costes (contenido de trabajo, COPQ y scrap).

<i>Tabla 11. Resumen del ahorro obtenido durante la vida del proyecto</i>					
Año	FY19	FY20	FY21	FY22	FY23
Modelo coche	C344&C520	C520R&C482	C482	C482	C482
Volumen IP total esperado	190.706	213.021	211.457	207.685	207.685
Ahorro de contenido de trabajo	49.539 €	56.442 €	57.148 €	57.251 €	58.396 €
Ahorro scrap	5.518 €	6.164 €	6.119 €	6.010 €	6.010 €
Ahorro por COPQ	29.970 €	29.970 €	29.970 €	29.970 €	29.970 €
Ahorro al año	85.027 €	92.576 €	93.237 €	93.231 €	94.376 €
Ahorro durante el tiempo de vida de los proyectos:					458.447 €

6 CONCLUSIONES

Dada la situación actual de decrecimiento del sector de la automoción tanto global como local en España, se plantea este trabajo de fin de máster a la empresa del sector de automoción ubicada en Almussafes (Valencia). Esta empresa tiene un cliente principal, el cual es Ford, para la producción de elementos automovilísticos como son las puertas, las guanteras, consolas y en concreto en este proyecto, el salpicadero.

El salpicadero es una pieza clave en el coche debido a su tamaño, posición y elementos de seguridad que se encuentran contenidos en esta pieza. Por este motivo, y para cumplir con las especificaciones de calidad y de seguridad que exige el cliente, el salpicadero se ve sometido a tres chequeos diferentes durante todo el proceso de fabricación. El defecto más repetitivo y costoso del salpicadero son las burbujas. Las burbujas son pequeñas cavidades de aire que se quedan atrapadas al cerrar el molde cuando se inyecta la mezcla de foam en su interior.

El primer punto de inspección está donde se produce el defecto de burbujas, después del proceso de foamizado. El segundo punto de inspección se encuentra en la mitad del proceso y se llama inspección intermedia. Finalmente, el último punto de inspección de encuentra al final de la línea productiva, antes de enviar la pieza al cliente.

El objetivo de este trabajo es la implantación de una cámara térmica para sustituir el método actual de chequeo de los salpicaderos a lo largo de la línea de producción y hacer este chequeo más rápido y eficiente, reduciendo así el coste económico asociado a este defecto.

El chequeo actual se basa en el método de palpación, en el cual un operario diferente en cada estación de inspección palpa el 100% de las piezas en busca de defectos bajo la piel, las burbujas.

Tras analizar este defecto, se han detectado 3 tipos de coste diferentes.

- 1.- Scrap y rework. Coste que tiene la empresa al tirar una pieza asociada a ese defecto o tener que retrabajarla.
- 2.- Contenido de trabajo. Es el coste que tiene tener que pagar a un operario por hacer el chequeo 3 veces (ya que el cliente no paga por ello).
- 3.- COPQ. Es el coste asociado a los rechazos internos y externos cuando el cliente detecta una pieza defectuosa.

Estos tres tipos de costes se han cuantificado durante la realización de este proyecto para poder calcular, a posteriori, el impacto de implantar esta cámara térmica.

Antes de implantar un prototipo del equipo de detección en la planta de producción, se ha tenido que comprobar que las piezas y las condiciones de los procesos cumplen con las especificaciones del equipo. Estas especificaciones son, principalmente, la temperatura a la que llega la pieza a la mesa de inspección y el tiempo de inspección que tarda el nuevo equipo en revisar un salpicadero.

Tras analizar los costes actuales y calcular el ahorro que supondría en la línea la implantación de este nuevo método, se ha presentado al departamento de finanzas toda la documentación para que la empresa acepte la inversión del equipo.

Actualmente, aunque el equipo se encuentra en la fábrica (*Ilustración 13*), éste no está en funcionamiento por una falta de homologación en el aspecto de seguridad, pero sí se está usando de forma excepcional para el nuevo proyecto de salpicadero.

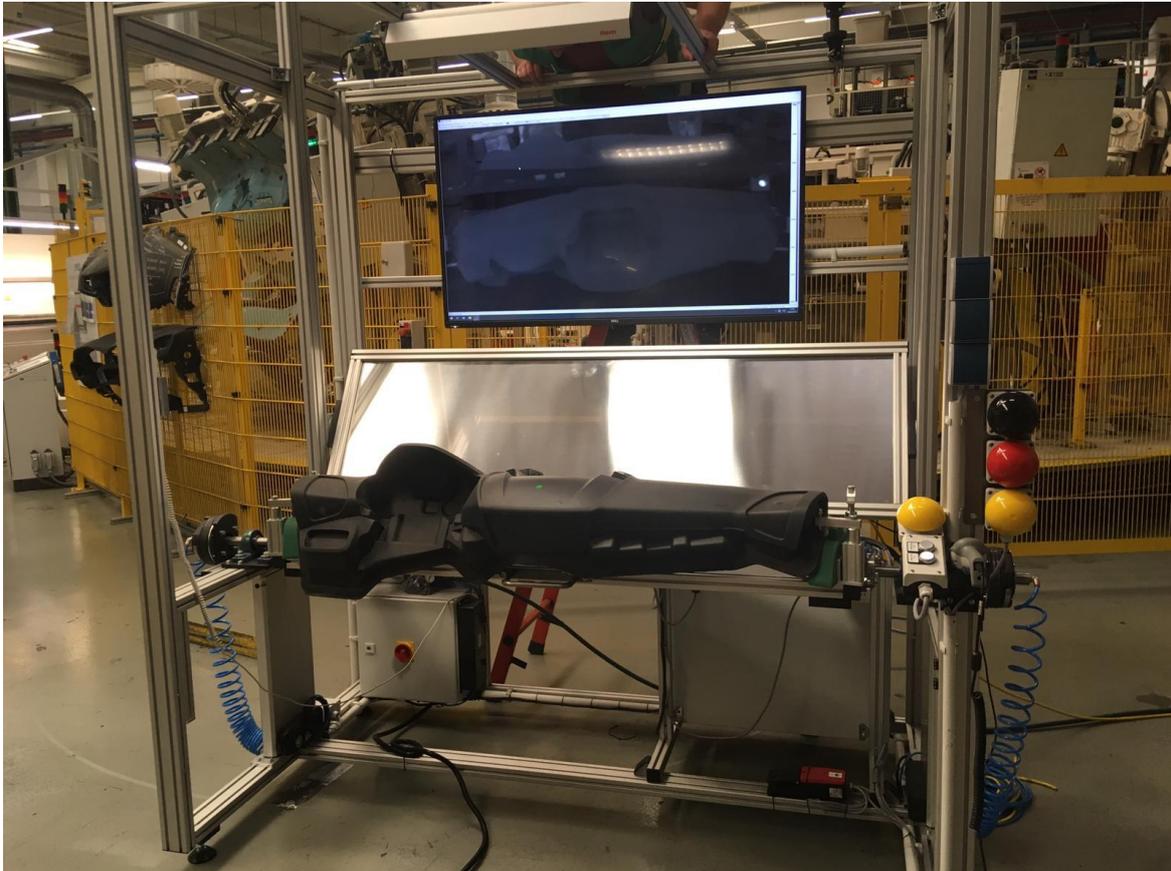


Ilustración 13. Equipo de detección de burbujas

Cuando se introduce un nuevo proyecto de foamizado, el tiempo de ajuste de los moldes y las juntas de éstos es muy largo, ya que optimizar el foamizado no es tarea fácil, por este motivo, tener un equipo en el que puedes observar en todo momento cómo afectan las modificaciones en el proceso de foamizado sobre las burbujas de una pieza es clave para agilizar la puesta a punto.

7 PRESUPUESTO

El objetivo del siguiente apartado es exponer el presupuesto total utilizado durante este proyecto final de máster. Para la organización de este apartado, el presupuesto se va a dividir en capítulos y éstos, a su vez, en subcapítulos. De este modo, para futuros proyectos de magnitudes similares, se puede prever su coste.

El presupuesto del equipo es el que se muestra en la *Tabla 12*, y se desglosa de la siguiente manera:

Pos	Descripción	Presupuesto
1.0	Cámara de Infrarrojos de alta definición Cámara de infrarrojos de última generación con alta resolución térmica	15.123,34 €
2.0	DashboardCheck Software El software DashboardCheck se entrega instalado en el ordenador integrado en el sistema El resultado de la inspección con todos los parámetros y con el código de barras de las piezas inspeccionadas son guardadas automáticamente en la base de datos. Esto permite la trazabilidad de las piezas.	11.390,90 €
3.0	Cabina eléctrica La cabina eléctrica contiene: - Ordenador de alta rendimiento y cero mantenimiento industrial - Módulo digital - Suplementos eléctricos - Conectores y accesorios	15.122,12 €
4.0	Dispositivo DashboardCheck System - Monitor - Brazo de soporte - Teclado y ratón	2.002,00 €
5.0	Cables conectores	714,10 €
6.0	Escáner manual de código de barras y botones de control	1.500,00 €
7.0	Documentación Manuales de operación, documentación técnica para hardware y software	2.000,00 €
8.0	Mesa de inspección - Mesa de aluminio - Mesa rotativa - Actuador eléctrico para ajustar la altura - Dimensiones: 2400 x 2200 x 1000 mm	24.100,00 €
9.0	Módulo para configurar el sistema	500,00 €

10.0	Módulo para monitorizar la temperatura	988,69 €
11.0	Servidor de Windows para la configuración de clientes	1000,00 €
12.0	Desarrollo de software para la integración de una llave de niveles (EKS) dentro del DashboardCheck System	1.229,60 €
13.0	Formación e instalación - Un día para la instalación -Un día para la formación - Un día para la optimización del equipo	1.512,28 €
14.1	Packaging para 1 DashboardCheck System	879,00 €
14.2	Costes de envío para 1 DashboardCheck System	2.896,97 €
TOTAL:		80.959,00 €

Para realizar este presupuesto se va a contabilizar la amortización del equipo de medición térmica. Para ello se supone que la vida útil del equipo es de 15 años y también se van a incluir las horas empleadas para realizar este trabajo. La amortización se puede calcular siguiendo la siguiente Ecuación 1.

$$A = \frac{V_C - V_r}{n} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde A hace referencia a la amortización (€), V_C es el valor de adquisición del equipo (€), V_r es el valor residual del equipo (€) y finalmente n es el tiempo de vida útil del equipo (años).

En este caso se supone una vida útil de 15 años y un valor residual de 0€ (es decir, la empresa no espera recibir ningún valor por este equipo al finalizar su vida útil).

$$A = \frac{80.959,00€ - 0€}{15 \text{ años}} = 5.397,27€/año$$

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. García, F. (30 de junio de 2019). La industria del automóvil, en caída y a la espera del coche eléctrico. El Mundo. Recuperado de <http://www.elmundo.es/>
2. Mezcuá, U. (19 de diciembre de 2018). La Unión Europea acuerda reducir un 37,5% las emisiones de CO2 de los coches nuevos en 2030. ABC. Recuperado de <http://www.abc.es/>
3. De la Torre, N. (10 de noviembre de 2019). ¿Tiene futuro Ford Almussafes?. El mundo. Recuperado de <http://www.elmundo.es/>
4. Romero, V. (23 de enero de 2019). Frenazo a las exportaciones de coches 'made in Spain' (y Ford es el que más sufre). El Confidencial. Recuperado de <http://www.elconfidencial.com/>
5. García, F. (28 de junio de 2019). Ford cierra su reestructuración en Europa: recortará 12.000 empleos hasta 2020. Expansión. Recuperado de <http://www.expansion.com/>
6. Ford dejará de producir el C-MAX en la fábrica alemana de Saarlouis. (29 de marzo de 2019). La Vanguardia. Recuperado de <http://www.lavanguardia.com/>
7. Las ventas de coches caen un 4,8% en 2019, su primer descenso en siete años. (2 de enero de 2020). Público. Recuperado de <http://www.publico.es>
8. Serra, M. (5 de noviembre de 2018). El País. Recuperado de <http://www.elpais.com>
9. El-Haik, B. and Al-Aomar, R., 2010. Simulation-Based Lean Six-Sigma And Design For Six-Sigma. Hoboken, N.J: Wiley-Interscience.
10. Van Aken, J. E., & Berends, H. (2018). *Problem solving in organizations*. Cambridge university press.
11. Adler, P. S. (1993). Time-and-motion regained. *Harvard Business Review*, 71(1), 97-108.
12. Abas, M., Abbas, A., & Khan, W. A. (2016, August). Scheduling job shop-A case study. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 146, No. 1, p. 012052). IOP Publishing.
13. Vijai, J. P., Somayaji, G. S. R., Swamy, R. J. R., & Aital, P. (2017). Relevance of FW Taylor's principles to modern shop-floor practices. *Benchmarking: An International Journal*.