



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y
AUTOMÁTICA**

TRABAJO FIN DE GRADO

***Estudio e implantación de la mejora del control de caudal de
pintura en una instalación de pintado de piezas plásticas para
automoción.***

DOCUMENTOS

MEMORIA DEL PROYECTO

PLIEGO DE CONDICIONES

PRESUPUESTO

AUTOR: MIGUEL JUAN LÓPEZ

TUTOR: RICARDO PIZÁ FERNÁNDEZ

VALENCIA, SEPTIEMBRE 2018



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

MEMORIA DEL PROYECTO

***Estudio e implantación de la mejora del control de caudal de
pintura en una instalación de pintado de piezas plásticas para
automoción.***

AUTOR: MIGUEL JUAN LÓPEZ

TUTOR: RICARDO PIZÁ FERNÁNDEZ

VALENCIA, SEPTIEMBRE 2018

Índice

1. Antecedentes.....	5
2. Objeto	5
3. Descripción del proceso.....	6
3.1. Diseño de la máquina de pintado rotacional con reciprocador IPRO	6
3.1.1. Descriptivo general de los equipos y los procesos.....	7
3.2. Proceso de aplicación de pintura	12
3.2.1. Descriptivo de los equipos.....	12
3.2.1.1. Robot reciprocador	13
3.2.1.2. Pistola electrostática aerográfica SAMES TRP 501 D.....	14
3.2.1.3. Bomba neumática KREMLIN Flowmax 20F440.....	17
3.2.1.4. Regulador neumático APSON PRP-2001	18
3.2.1.5. Válvula proporcional HOERBIGER Tecno Basic PRE-U....	19
3.2.1.6. Caudalímetro másico KEM TRICOR KEM TCM 0325.....	20
3.2.1.7. Cambiador de color CTM KREMLIN.....	22
3.2.1.8. Actuador neumático Alpha Pompe AP330	23
3.2.1.9. Mezcladora GRACO PROMIX Easy	24
3.2.2. Descripción del proceso.....	25
4. Descripción de los problemas	28
4.1. Tecnologías de pintura. Acabados tricapa.....	29
4.2. Control de calidad de aspecto de las piezas producidas	30
4.3. Problemas relacionados con la aplicación de los acabados tricapa	34
5. Mejora propuestas	38
5.1. Nueva disposición de los caudalímetros másicos.....	38

5.2. Cambio de lectura de datos de pulsos a analógica	42
5.3. Cambio de control de regulación del caudal de sistema por aproximaciones a sistema PID.....	45
6. Conclusiones.....	48

1. Antecedentes

La necesidad de realizar este estudio surge debido a los avances en la tecnología de fabricación de pinturas y componentes de revestimientos para el automóvil, que otorgan a los fabricantes un mayor número de opciones a la hora de promocionar nuevos acabados que los diferencien de sus competidores. Sin embargo, la entrada de estos nuevos productos exige que los proveedores deban mejorar sus procesos para poder satisfacer las necesidades de los fabricantes de una manera competitiva y lucrativa.

Durante la realización de un periodo de prácticas en la empresa SRG Global en el área de pintura, comienza el estudio de las posibles mejoras de proceso a incluir tras aparecer varios problemas de producción en relación con componentes de pinturas que ofrecen nuevos acabados y que aumentan la complejidad del proceso de fabricación.

La instalación en cuestión cuenta con un proceso de pintado de útiles o *racks*, sobre los que van fijadas unas trepas o *jigs* que a su vez portan sujetas las piezas plásticas. Estos *racks* están dispuestos en plano y transcurren por el interior de la máquina mediante un movimiento de traslación y rotación. Al pasar por las cabinas de pintado, los componentes son aplicados mediante pistolas aerográficas sujetas a un reciprocador de dos ejes.

Las piezas plásticas son verificadas a la salida de máquina y retrabajadas en función de los requerimientos que indiquen las hojas de proceso de verificado y los criterios marcados en las pautas de calidad, documentos que varían según la referencia debido a las diferencias que se dan entre las normas de los distintos fabricantes (Grupo Volkswagen, Ford, Grupo BMW, Grupo FIAT...).

2. Objeto

Teniendo en cuenta que nos encontramos en el sector del automóvil, en el proceso de pintado de piezas se busca la máxima durabilidad del acabado con el mínimo número de capas, curadas de la manera más rápida, al menor costo posible.

Partiendo de esa premisa, el objeto de este estudio es plantear las modificaciones de máquina necesarias para lograr un control más preciso del caudal de pintura.

La necesidad de implantar posibles mejoras de proceso surge del aumento de la demanda de acabados *tricapa* o perlados en los nuevos proyectos comerciales. Esta tecnología, diferente a los habituales acabados *monocapas*, *bicapas* sólidos o *bicapas* metalizados, requiere un mayor control del proceso de aplicación, tal y como explicaremos en el apartado 4.1. *Tecnologías de pintura. Acabados tricapa*.

3. Descripción del proceso

Antes de entrar en materia del objeto de este estudio, la mejora en la regulación de la pintura como fluido, y con el fin de poner en contexto a todo aquel usuario que desconozca los procesos relacionados con la aplicación de pintura, procedo a hacer una descripción de la máquina y de los procesos realizados en ella sin profundizar en exceso en aquellos que no tengan que ver con la aplicación de pintura líquida.

3.1. Diseño de la máquina de pintado rotacional con reciprocador IPRO

IPRO es la denominación popular que recibe la instalación de pintado sobre la que trata el presente proyecto, nombre que viene del acrónimo **I**nstalación **P**lana **R**otativa.

En la memoria del proyecto con fecha de febrero de 1999 la línea se define como una *Instalación de Pretratamiento y Aplicación de pintura sobre piezas para automoción de geometría variable de diferentes plásticos (ABS, PP y PA aparecen nombrados únicamente) en horizontal.*

La línea original constaba de los siguientes procesos:

- Un túnel de tratamiento de tres etapas.
- Un soplador de aire para la eliminación de la gota residual.
- Una estufa de secado de humedad.
- Un SAS de desionización.
- Tres cabinas de pintura provistas de un lavador central y un vestíbulo de entrada.
- Tres SAS de unión entre Cabinas y estufas de cocción.
- Tres enfriadores después de estufas
- Tres recintos para la preparación de la pintura en la instalación.
- Equipos de ventilación para las cabinas de pintura.

El diseño de la instalación original se realizó de acuerdo con el plano nº 31694000001 que adjunto en el apartado de anexos.

Movimiento de traslación

El movimiento de traslación de los útiles viene dado por la cadena principal de la máquina, excepto por las zonas que cuentan con su propia línea de acompañamiento.

Tanto la cadena principal como las cadenas de las líneas de acompañamiento cuentan con eslabones de gran tamaño sobre los que reposa el bulón del útil. La unión de las líneas de acompañamiento individuales y la cadena principal se logra con zonas de reenvío.

Esta división viene dada para que, cualquier paro producido en la máquina (provocado, por ejemplo, por un problema en la zona de enristre de las piezas), no afecte a la aplicación en ninguna de las 3 cabinas.

Se limita por tanto los fallos de aplicación, ya que un paro de más de 5 minutos en la cabina del barniz provoca ineficiencias en el proceso de reticulación del barniz.

Movimiento de rotación

El movimiento de rotación de los útiles se logra gracias al plato engranado del útiles que reposa sobre líneas de giro, divididas por zonas. La unión entre las líneas de giro se consigue con zonas de reenvío.



Fig. 1. Imagen del mecanismo de reenvío de cadena en un evaporado.

3.1.1. Descriptivo general de los equipos y los procesos

Túnel de tratamiento

Se trata de un proceso de pulverización por bombas en continuo dentro de un túnel constituido por una carcasa, cubas y bandejas de escurrido.

El conjunto del proceso consta de las etapas siguientes:

- Desengrase (180'' a 50 °C)
 - o Rampa de aclarado con agua de red recirculada.
- Enjuague con agua de red recirculada (90'' a Tª ambiente)
 - o Rampa de aclarado con agua de red.
- Enjuague con agua desionizada recirculada (60'' a Tª ambiente)

- Rampa de aclarado con agua desionizada nueva.

El proceso de desengrasado es alcalino para eliminar las suciedades, polvos y depósitos de grasa sobre la pieza. Esta operación asocia los efectos químicos de los productos utilizados a los efectos mecánicos de la pulverización.

La contaminación del baño por las piezas implica cambiar el agua y acondicionarla químicamente de manera periódica, ya que condicionan la calidad del lavado.

La calidad de los enjuagues es un complemento a la calidad de los tratamientos. Para conservar una calidad constante y reducir los consumos de agua, los enjuagues son de cascada inversa y con agua desmineralizada, para limitar los riesgos de depósitos de sales minerales responsables de defectos de pintura. La calidad de este baño está controlada por un medidor de conductividad.

La pulverización es constante y asocia el efecto mecánico, al efecto químico de tratamiento.

Debajo de cada etapa, una cuba fabricada en acero inoxidable permite a la bomba de pulverización distribuir el fluido en una tubería a la cual se conectan las rampas de pulverización. El control de nivel de seguridad en las cubas se realizará por medio de un detector de nivel que actúa sobre la electroválvula de mantenimiento de nivel. El nivel de seguridad actúa sobre el sistema de aporte de calor en la 1ª etapa y sobre las bombas.

Las diferentes etapas están aisladas las unas de las otras por unas zonas donde las piezas se escurren sobre bandejas inclinadas de manera que las soluciones vuelvan a las cubas de origen.

Las zonas de entrada y salida llevan bandejas inclinadas respectivamente hacia la primera y última etapa.

SAS de soplado automático

Este SAS está previsto para soplar las retenciones de agua en los puntos críticos de las piezas. Cuantas menos gotas contengan las piezas, menos probabilidad habrá de dejar marcas de cal sobre las piezas debido a una desviación en los parámetros de calidad del agua de enjuague.

Esta zona lleva un anillo de soplado de aire a alta velocidad con toberas orientables. El aire está recirculado por un ventilador específico y pasa por una etapa de filtración-

Estufa de secado de la humedad por convección forzada.

EL aire utilizado como fluido calefactor es reciclado en permanencia entre una fuente de calentamiento y el recinto calorifugado.

El aire es soplado a alta velocidad por unos conductos que llevan labios de soplado. La aspiración de aire se hace en parte inferior por una apertura con chapa perforada. La

recirculación del aire aumenta la superficie de intercambio entre el aire y la humedad de las piezas, facilitando el secado.

En las siluetas de entrada y salida, se ubican cortinas de aire con filtración.

Zona de enfriamiento del secado de humedad.

Recinto de renovación total de aire.

El aire es utilizado como fluido de enfriamiento, es renovado permanente mediante ventilador de impulsión (aire procedente del grupo de aporte de aire) y ventilador de extracción independientes con la finalidad de evitar la saturación de calor en el aire.

SAS de desionización

Es la zona donde se aplica un sistema electrostático para obtener la neutralización de las cargas y con ello evitar la adherencia entre el cuerpo y las partículas de polvo ambiente, esto nos permite expulsar y limpiar dichas partículas adheridas aplicando conjuntamente al proceso electrostático un caudal de aire de proyección sobre dicho cuerpo.

Cabinas de aplicación.

La línea cuenta con 3 cabinas de aplicación de componentes. Todas ellas cuentan con:

- **Enfriador:** recinto previo a la cabina de aplicación de recirculación con alto nivel de renovación de aire. El aire es utilizado como fluido de enfriamiento, es renovado permanentemente mediante ventilador de impulsión y ventilador de extracción independientes con la finalidad de evitar la saturación de calor en el aire.
- **Cabina de aplicación:** recinto en el que se sitúa el robot reciprocador apoyado en una estructura de soporte. El reciprocador realiza un movimiento de traslación en el eje X (eje perpendicular al movimiento de traslación de los útiles de pintado transportados por las cadenas) y otro movimiento de traslación en el eje Y (eje paralelo al movimiento de traslación de los útiles de pintado). La distancia mínima y la máxima del eje X están limitadas físicamente por las estructuras de alojamiento de las cadenas, las cuales cuentan con cubrecadenas para proteger a las cadenas de los restos de pinturas que se producen durante la aplicación.
- **Plenum de cabinas:** esta zona es la encargada de repartir el aire en la cabina. Su dimensionamiento garantiza el flujo laminar deseado. Está alimentado por una entrada de aire procedente de un grupo propio a la aplicación de pintura. El conjunto está diseñado con el fin de obtener un gradiente de velocidad decreciente después de su reparto en el plenum, el aire atraviesa un techo filtrante que cubre la totalidad de la superficie del recinto y asegura una ventilación homogénea. El techo filtrante tiene como funciones repartir el aire del plenum y estabilizar el flujo gracias a la pérdida de carga de los filtros y garantizar una excelente calidad de filtrado en el recinto que suprima así los riesgos de defectos debidos a los granos por ventilación.

- **Lavador de aire:** la extracción y el lavado del aire cargado de partículas es efectuado por medio de lavador con muy fuerte turbulencia. Este lavado húmedo asegura una retención muy eficaz de los pigmentos de pintura gracias a la mezcla íntima de agua y aire. EL agua es conducida por el suelo en pendiente de la cabina fabricado en acero inoxidable, que es llevada al lavador situado debajo de la cabina.
- **Recirculación de agua en la cabina:** para la recirculación de agua se aprovecha las fosas existentes en el exterior de la nave en las que se instala una bomba centrífuga horizontal de recirculación, así como un sistema de control del nivel de agua de las fosas, para la protección de la bomba. Se incluyen mallas filtrantes para delimitar la zona de aspiración y proteger la bomba de restos sólidos lodosos de pintura de la bomba. La conexión desde el canal de evacuación y las fosas se realiza por gravedad mediante una canaleta realizada en Obra Civil.
- **SAS de Evaporación:** la cabina de aplicación y los hornos de curado están unidos por unos SAS de evaporación. El tiempo de estancia en el SAS es calculado para conseguir la evaporación del exceso de disolventes contenidos en la pintura y permitir el perfecto secado de la pieza en el horno. En estas zonas, donde la evaporación de disolventes es importante, el aire debe estar renovado combinando una extracción y un aporte de aire nuevo de características (temperatura, humedad y filtración) idénticas al aire de la cabina. El aire nuevo procede del mismo grupo de aporte que alimenta también a la cabina y el enfriador.
- **Vestíbulos y salas de mezclas:** los vestíbulos son recintos destinados para acceder a las cabinas de aplicación, ubicar la gran parte de los equipos de pintado y donde el aplicador opera introduciendo los parámetros de aplicación en la pantalla de control. Las salas de mezclas son recintos destinados a la preparación de pintura.

Horno de curado

Se trata de una estufa de cocción por convención forzada, empleando el aire como fluido calefactor. El aire es reciclado en permanencia entre una fuente de calentamiento y el recinto calorifugado. El aire es soplado a través de un plenum con filtros repartidos de tal manera que una mitad del caudal esté soplado en el primer tercio del recorrido del transportador en la estufa. La aspiración de aire se hace en la parte inferior por una apertura con chapa perforada. La recirculación del aire aumenta la superficie de intercambio entre el aire y la humedad de las piezas, facilitando el curado de la pieza. Cuenta con dos grupos de aporte de calor.

Grupos de aporte de aire.

Instalado de forma independiente al cuerpo de la cabina con el fin de evitar la transmisión de vibraciones y el sobrecalentamiento de los filtros finales y de la estructura que los soporta, por irradiación de la cámara de combustión. Se trata de un sistema de aireación con renovación total del aire tratado. El aire es aspirado del exterior de la nave, a través de un grupo ventilador que lo introduce en el grupo de prefiltraje de tipo bolsa de amplia superficie de paso, que asegura una eficiente filtración preliminar. Tras esa etapa de prefiltrado, se encuentra otra etapa

de filtrado de media eficacia para asegurar la calidad del aire entrante. Tras las etapas de filtración del aire entrante a la instalación, se encuentra la sección de calentamiento, formada por un quemador de gas y cámara de calentamiento mediante vena de aire. El quemador está dotado de una llama piloto, una detección de llama y la alimentación de gas.

Productividad de la línea en función de la referencia

La producción según el diseño de la memoria era de 73,8 balancelas o útiles por hora a una velocidad de 100 cm/min o de 88,5 útiles por hora a una velocidad de 120 cm/min.

La velocidad del transportador o cadena principal es variable entre 50 cm/min hasta 150 cm/min, siendo el actual 100 cm/min. La velocidad está limitada por el principal cuello de botella de la máquina: la capacidad de enristre de piezas plásticas sobre los útiles de los operarios en la tarima de enristre, el espacio de la línea delimitado para ello.

Según el apartado de *Base de cálculo* de la memoria del proyecto, cada útil tiene una capacidad máxima de carga de 28 piezas, pero se deduce que se trata de un dato aproximado y calculado en base a la baja modularidad con la que contaban los coches en el año en el que se diseñó la línea, comparativamente con hoy en día ha aumentado el número y la variabilidad geométrica de las piezas que conforman el automóvil y que se van montando sobre el chasis.



Figura 3. Descripción del conjunto de piezas que componen la carrocería de un coche.

Un ejemplo de la variación en la capacidad de enristre de piezas en los útiles es la comparativa entre la industrialización de una pieza *Sacrifice Panel* o parachoques trasero y la pieza tapabujes.



Fig 4. Imagen de un útil cargado con piezas de tapacubos (16 pzs/útil).



Fig. 5. Imagen de un útil cargado con piezas de molduras (18 pzs/útil).

3.2. Proceso de aplicación de pintura

3.2.1. Descriptivo de los equipos

Este apartado se centrará en la descripción de los equipos que participan en el proceso de aplicación de pintura, prestando especial atención a aquellos que entren en contacto con la pintura. Asimismo, tampoco se detallarán las especificaciones técnicas de los equipos que estén presentes en el proceso de pintado, pero cuyo funcionamiento no implique un control en el caudal de la pintura, como los motores eléctricos de cada eje del robot reciprocador. No se

mencionarán por tanto los equipos que controlan el aire empleado en la alimentación de los equipos ni en el pilotaje de los actuadores neumáticos o de las pistolas.

3.2.1.1. Robot reciprocador

Tal y como se ha comentado en el apartado de cabina de aplicación del punto 3.1.1., la instalación IPRO cuenta con 3 cabinas de aplicación con robots reciprocadores de dos ejes como el que podemos ver en la imagen de abajo.



Fig. 6. Imagen del robot reciprocador.

En cuanto un útil llega a la zona de detección del sensor de presencia ubicado en la sala de enfriado que precede a cada cabina, se activa el movimiento del robot reciprocador, que realiza desplazamientos en dos ejes, el eje X y el eje Y. El eje X traza un recorrido ejecutando un movimiento senoidal desde el punto X_{min} al punto X_{max} , variable en función del código de recorrido que se haya introducido por pantalla.

El movimiento del eje Y viene marcado por la velocidad general de la línea (100 cm/min) y el punto de inicio en este eje marca el inicio del ciclo de pintado. En cuanto llegue al punto Y_{max} , se finalizará el ciclo de pintado y volverá a posición de reposo en el Y_0 para iniciar un nuevo ciclo.

El programa te permite crear diferentes códigos para poder realizar un proceso de aplicación diferente en función del área de pintado de la pieza en cuestión. Los parámetros a introducir en cada código de recorrido son:

- Velocidad del reciprocador en el eje X (m/s): este parámetro marcará el número de pasadas que realizará el reciprocador, aumentando este número a medida que la velocidad sea mayor.
- X_{min} : punto de inicio del recorrido de aplicación en el eje X.
- X_{max} : punto de fin del recorrido de aplicación en el eje X.

El reciprocador cuenta con una estructura de fijación de las pistolas aerográficas a la estructura del eje X del robot. Esta estructura de fijación consta de dos barras de aluminio con perforaciones cada 2 cm de manera que permita variar de manera mecánica la altura de cada pistola respecto al útil. La pistola está sujeta a esta estructura mediante un inclinómetro, mecanismo que regula el grado de inclinación de la pistola respecto a la barra vertical de la estructura de fijación. De esta manera, el punto 0 del inclinómetro corresponderá con la vertical que marca la barra vertical y el punto 7 con el mayor ángulo en el que podemos fijar la inclinación de la pistola respecto a esa vertical.

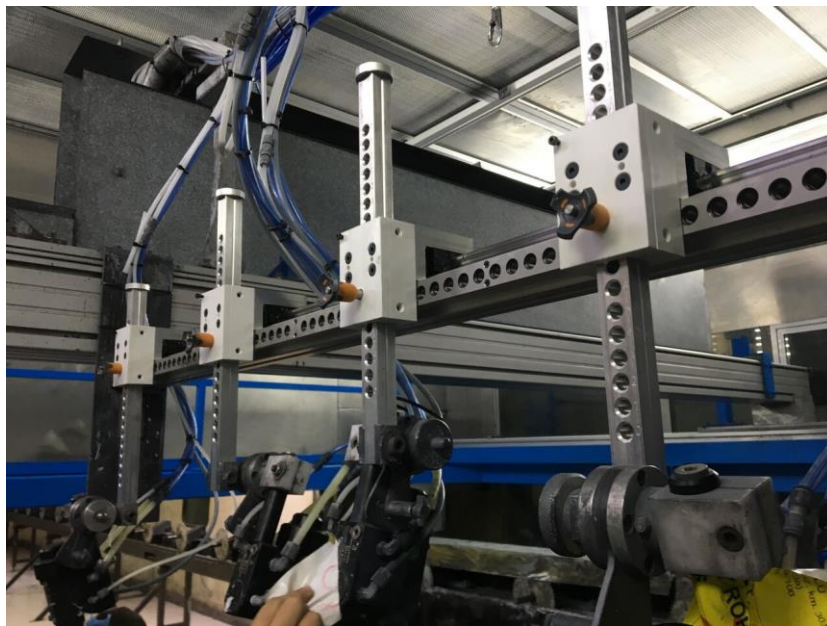


Fig. 7. Imagen de la estructura de fijación de las pistolas.

Descritas ya las partes y funcionamiento del robot, pasamos a describir los equipos de pintado antes de pasar a la descripción del proceso.

3.2.1.2. Pistola electrostática aerográfica SAMES TRP 501 D

La instalación cuenta con el modelo de pistolas electrostáticas aerográficas SAMES TRP501, a razón de 5 pistolas por cada cabina. Se trata de un modelo de pistola pulverizadora

con cable de alta tensión empleadas para la pulverización neumática electrostática y automática de pinturas líquidas, en nuestro caso a base de solventes.

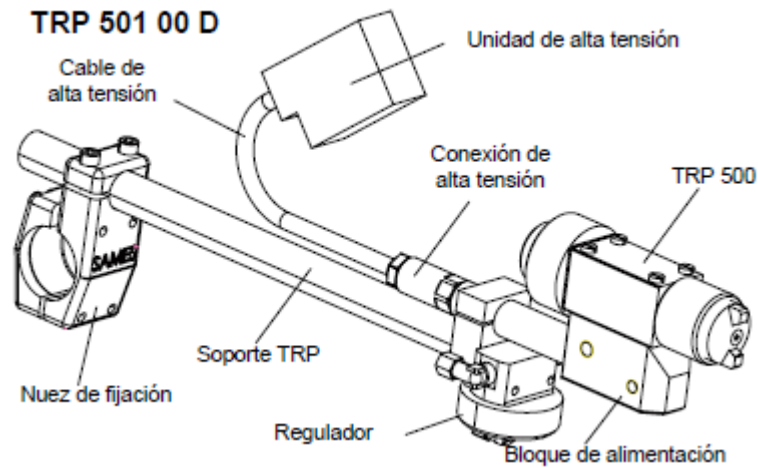


Figura 8. Principales componentes del modelo SAMES TRP 501 D.

Las partes que componen el cuerpo de la pistola son las siguientes:

- Cabezal de pulverización: están equipadas con un cabezal que a su vez cuenta con un sombrero y una boquilla de chorro plano que permite la obtención de un chorro plano regulable de manera angular por medio de anillos de orientación. Las dimensiones de este chorro son regulables en función del aire el cual se podrá orientar hacia el centro y hacia los extremos.
- Bloques de alimentación: los bloques comprenden pasos para el aire de pulverización y para el pilotaje, así como para la pintura y la alta tensión. Tienen una llegada de pintura, una salida de purga de la pintura, cuatro llegadas de aire equipadas con racores plásticos y una llegada de alta tensión.

Las llegadas de aire se pueden ver en la **fig. 9** y su descripción es la siguiente:

- Pilotaje, aguja y localización (PT): se utiliza para iniciar o interrumpir la pulverización.
- Pilotaje, purga, localización (PD): se utiliza para realizar la operación de purga del circuito. Aire central, al contar con un caso de chorro plano (AA): brinda finura a la pulverización y expulsa el exceso de nube de pulverización lejos del sombrero para evitar que se ensucie.
- Aire de los extremos, al contar con un caso de chorro plano (FA): brinda el diámetro de impacto o anchura del abanico de pulverización (impacto ancho o estrecho).

Además, el bloque de alimentación comprende un sistema de purga del circuito de pintura equipado con una aguja, un asiento, un resorte, un soporte de membrana, una membrana y una tapa.

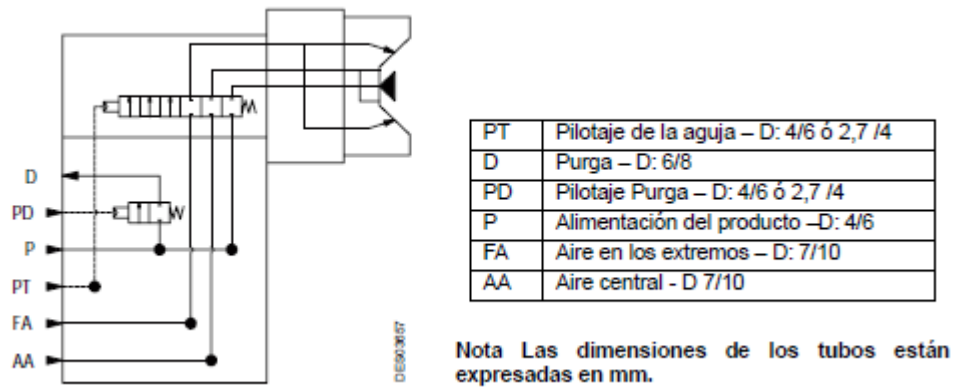


Fig. 9. Esquema de los fluidos de la pistola SAMES TRP 501 D.

El conjunto del sistema que constituye la pistola *SAMES TRP 501 D*, el cual aparece en el esquema de la **fig. 10** incluye un módulo de mando *GNM 200*. Este se encarga del control del potencial electrostático requerido mediante su enlace de baja tensión que lo conecta a la unidad de alta tensión *UHT 188 EEx*, encargada de generar el potencial eléctrico. Este potencial se transmite a través del cable de alta tensión hasta la conexión de alta tensión de la pistola que está unido al bloque de alimentación.

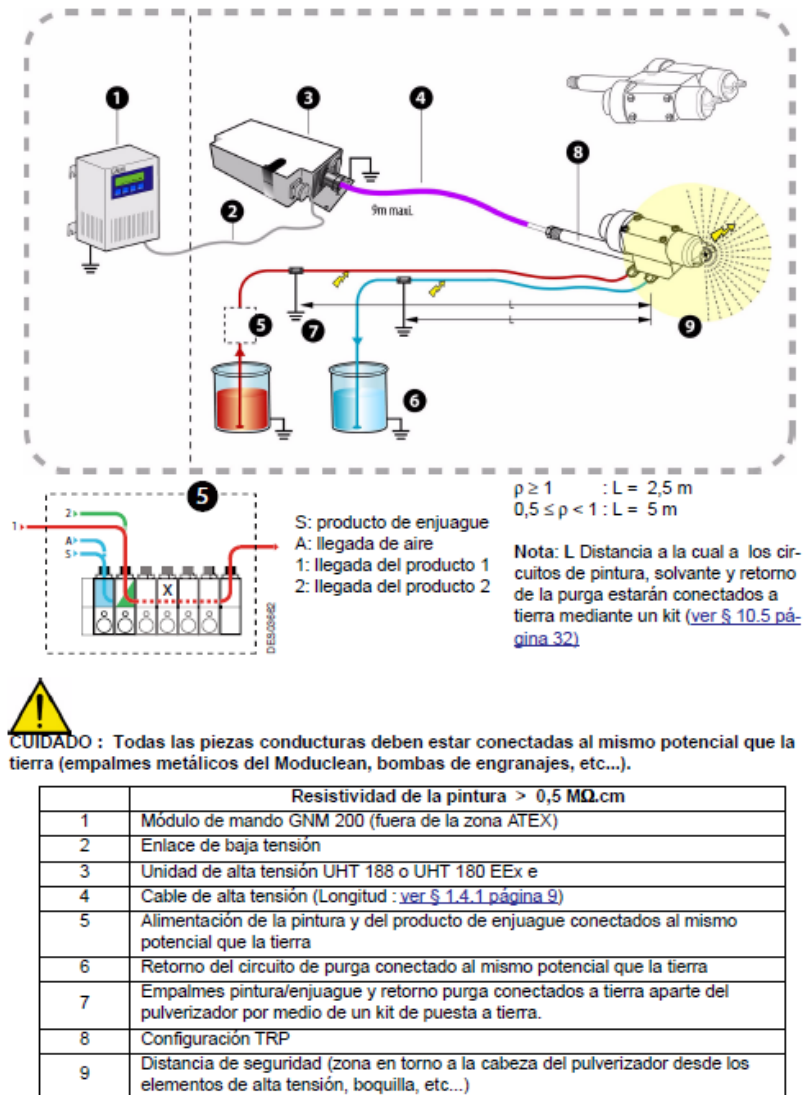


Figura 10. Esquema de la instalación del conjunto de pistola SAMES TRP 501 D.

3.2.1.3. Bomba neumática KREMLIN Flowmax20F440

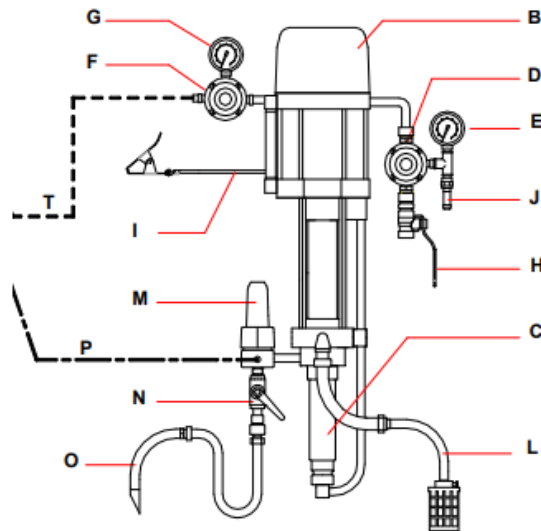
En el caso de la cabina de aplicación de la base, la instalación cuenta con 5 circuitos de pintura, cada uno de ellos impulsados por una bomba neumática *KREMLIN FLOWMAX 20F440*. Se trata de una bomba neumática con estanqueidad mediante fuelle concebida para sistemas que requieran un alto caudal de fluido.

La bomba se estructura en dos conjuntos:

- Motor alternativo neumático (B).
- Sección hidráulica (C) unida mecánicamente al motor.

El motor está alimentado en aire comprimido mediante el manorreductor (D), a una presión pautada y que se indica en el manómetro (E). Durante su movimiento alternativo, el

motor arrastra el pistón de la sección hidráulica, se aspira la pintura de su recipiente por la caña de aspiración (L) y se expulsa por la válvula de purga (N), a la que irá conectada la manguera de impulsión al bloque de control de consumo. Por construcción, esta presión es siempre igual a la presión de alimentación multiplicada por la relación de la bomba, en nuestro caso una relación de 1 a 4.



Denominaciones :

A	Bomba (B + C) intensive™ o FLOWMAX ®	L	Caña de aspiración (según el modelo)
B	Motor	M	Filtro acumulador (según el modelo)
C	Hidráulica	N	Válvula de purga (según el modelo)
D	Manorreductor "AIRE MOTEUR"	O	Caña de purga (según el modelo)
E	Manómetro	P	Tubería de producto HP
F	Manorreductor "AIRE PISTOLA (según el modelo)	R	Disolvente T (1/4 l) (sólo para bomba intensive™)
G	Manómetro (según el modelo)	S	Cubeta prensa guarnición (sólo para bomba intensive™)
H	Válvula de llegada de aire	T	Tubería aire (calidad antiestática)
I	Toma de tierra		
J	Valvula de descarga		

Figura 11. Esquema de la bomba neumática KREMLIN FLOWMAX 20F440.

3.2.1.4. Regulador neumático APSON PRP-2001 de baja presión

Para regular el caudal de pintura en nuestro proceso, se emplea un regulador neumático, en concreto para esta instalación el elegido es el modelo PRP-2001 de baja presión de la marca APSON.

Se trata de un regulador de presión controlable neumáticamente integrado por los siguientes componentes:

- Anillo espaciador.

- Membrana de aire.
- Membrana de producto.
- Cuerpo del regulador.
- Muelle de retroceso.
- Cierre de bola.



Fig. 12. Imagen del despiece de uno de los reguladores APSON.

El proceso de regulación se logra a través del equilibrio de la fuerza producida por la presión del aire de entrada, que viene alimentado de la salida de la válvula proporcional neumática, y la presión del fluido unida a la fuerza del muelle de retroceso alojado en el cuerpo del regulador, entre el agujero de salida del fluido y la membrana de producto.

3.2.1.5. Válvula proporcional neumática HOERBIGER Tecno Basic PRE-U

La alimentación de aire de los reguladores neumáticos de producto lo proporciona una válvula proporcional neumática. El modelo empleado en esta instalación es el *Hoerbiger Tecno Basic PRE-U*. Esta controla la salida de presión neumáticamente en función de la señal de control eléctrica, de rango de 4-20 mA, que recibe del PLC. Esta señal es variable en función de la lectura del caudal del fluido que proporcione el contador. Utilizando tecnología piezo electrónica integrada el sistema de control de presión controla la válvula de 3 vías reguladora de presión. El sensor de presión en la salida mide la presión de salida instantánea.

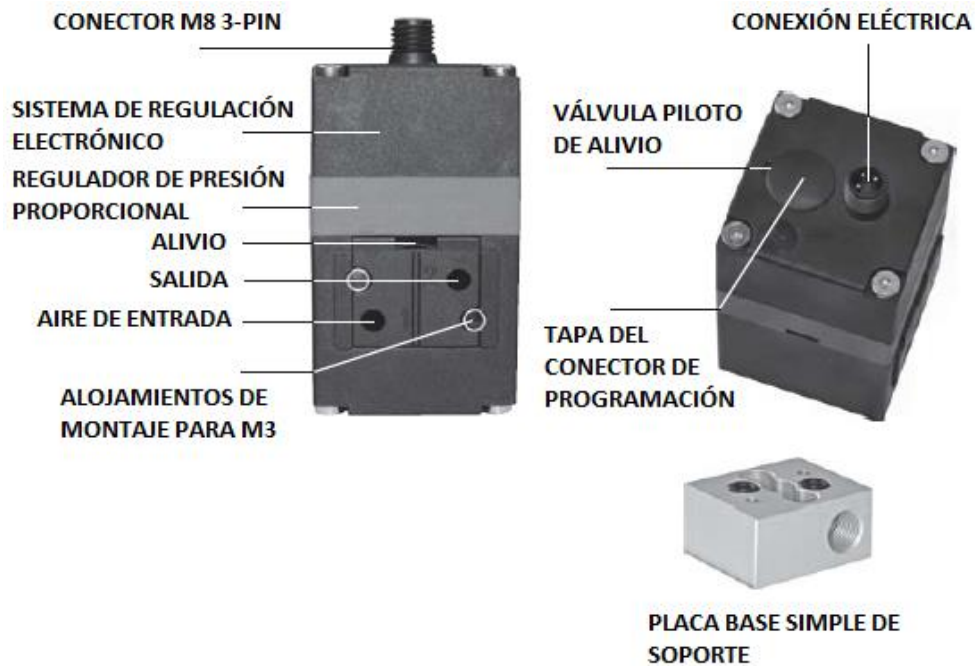


Figura 13. Esquema del modelo Hoerbiger Tecno Basic PRE-U.

3.2.1.6. Caudalímetro másico KEM TRICOR TCM 0325

Para la lectura del caudal que circula por el sistema, se emplea un caudalímetro másico de efecto Corriolis, en concreto el modelo *TRICOR TCM 0325* de la marca *KEM*.

Antes de la instalación de este tipo de caudalímetro, el caudal se medía mediante un contador volumétrico de engranajes. Este tipo de caudalímetro está constituido por un par de ruedas dentadas ajustadas de forma precisa a la carcasa. El espacio existente entre el engranado de las dos ruedas dentadas constituye el volumen fijo que podrá circular por el orificio de salida gracias a la rotación de las ruedas dentadas. Mediante un sensor inductivo se cuentan las vueltas que realizan estas ruedas dentadas, valor que se transmite en forma de impulsos al PLC.



Figura 14. Imagen del despiece de un contador volumétrico de engranajes KEM LFM 10.

La problemática relacionada con este tipo de caudalímetro viene cuando se alojan en las ruedas dentadas acumulaciones solidificadas de pintura que el sistema no es capaz de eliminar en el proceso de enjuague por disolvente. Motivado por esto, se decidió cambiar el sistema de lectura de caudal a un sistema de medición másico tipo Coriolis.

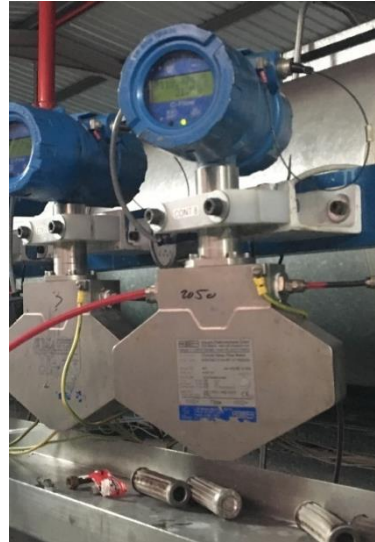


Figura 15. Imagen de un caudalímetro másico KEM TRICOR.

El principio de medición de este sistema es el efecto Coriolis que, aplicado a la medición de fluidos, está basado en inducir una vibración al tubo de caudal por donde pasa el fluido. La vibración, aunque no es completamente circular, proporciona el marco de referencia rotativo que permite que ocurra el efecto Coriolis. El sistema cuenta con dos tubos, uno por el que circula el fluido del proceso y otro que sirve como referencia para el sistema de medición y por el que circula un mismo fluido controlado. Los tubos de medición son obligados a oscilar, produciendo así una onda senoidal. A caudal cero, los dos tubos vibran en fase entre sí. Cuando se introduce el caudal, las fuerzas Coriolis ocasionan que los tubos se tuerzan produciendo un desplazamiento de fase. Se mide la diferencia en tiempo entre las ondas y es directamente proporcional al caudal másico, tal y como se puede apreciar en la **Figura 16**.

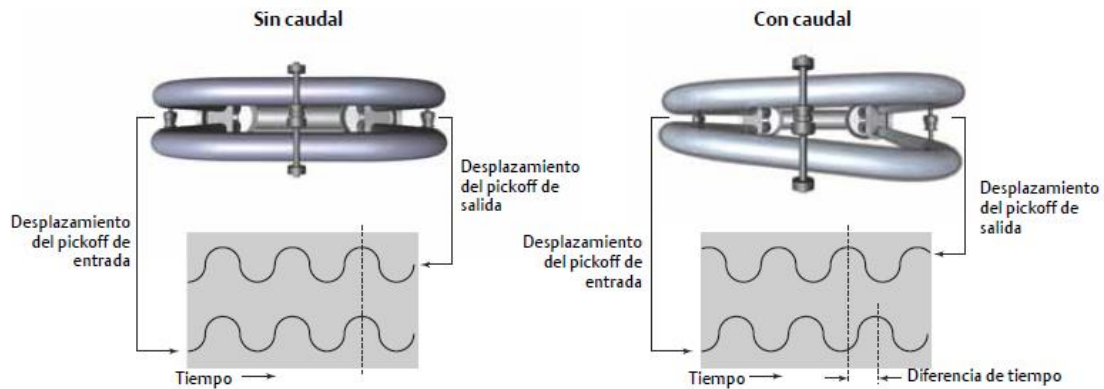


Figura 16. Principio de medición de los caudalímetros máxicos tipo Coriolis.

Además, estos caudalímetros son capaces de realizar mediciones de densidad y de temperatura, gracias a los registros de modificación de la frecuencia de vibración de los tubos y a un sensor termopar.

3.2.1.7. Cambiador de color CTM KREMLIN

El cambiador de color modelo CTM de la marca KREMLIN es el equipo encargado de realizar los cambios rápidos de color, sin manipulación de productos, reduciendo los costes de intervención y de disolvente. Su diseño sin ningún punto muerto permite una limpieza total de sus alojamientos, para evitar contaminaciones de color de una aplicación a otra.

Están compuestos por:

- 1 módulo de extremidad (entrada).
- X módulos intermediarios.
- 1 brida de salida.
- 2 tirantes.

El módulo de extremidad y los módulos intermediarios están equipados de 2 válvulas (2 por módulo) de mando neumático que alimentan cada una un color en la alimentación central.

Al operar durante el proceso de enjuague a una presión de hasta 25 bares, se emplean los módulos y válvulas AIRMIX (medium presión - 120 bar) de KREMLIN para las entradas de disolvente.

Los módulos se superponen los unos encima de los otros y se mantienen con 2 tirantes de longitud adaptada a la cantidad de módulos.

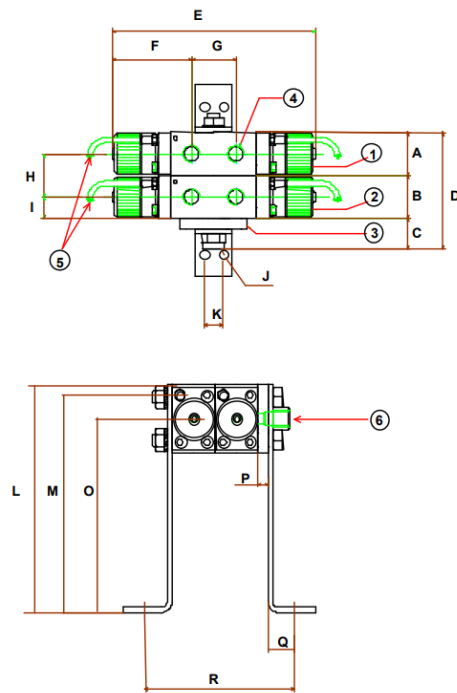


Fig. 17. Imagen del esquema del cambiador de color CTM KREMLIN.

3.2.1.8. Actuador neumático Alpha Pompe AP330.

Para realizar las operaciones de apertura o cierre de los diferentes circuitos de carga y enjuague, se emplean actuadores neumáticos de la marca *Alpha Pompe*, modelo AP330.



Fig. 18. Imagen de un actuador neumático modelo AP330 de la marca Alpha Pompe.

En cuanto reciben señal neumática, el actuador conmuta la posición de su válvula para cerrar o permitir el paso del fluido.

3.2.1.9. Mezcladora GRACO PROMIX Easy

El catalizador es un componente empleado en la pintura para acelerar la reticulación de la pintura, es decir, para lograr el paso de estado líquido a sólido. Este componente se aplica por motivos de adherencia a la anterior capa o por ser un acabado *monocapa* al que no se le aplicará un barniz protector. Para evitar que la reacción de catalización se produzca en el interior de las mangueras del circuito de aplicación, se requiere de un equipo que realice impulse el componente catalizador y el componente de la base por circuitos separados hasta llegar al bloque de regulación de pintura.

Estos equipos se denominan mezcladoras y están compuestos por:

- Panel de control.
- Tarjeta controladora que se comunica con el PLC.
- 2 dosificadoras: se trata de válvulas de dosificación de pintura que trabajan de manera asíncrona. Cuenta con una dosificadora por componente (una para catalizador y otra para base). La relación de mezcla que se introduzca en el panel de control establecerá el número de veces que permita el paso en un determinado tiempo cada dosificadora.
- Caudalímetros: para verificar que el caudal saliente de cada uno de los circuitos de los componentes.
- Tubo mezclador: tubo por el que circula el caudal saliente ya mezclado.



Fig. 19. Imagen de la GRACO PROMIX Easy.

3.2.2. Descripción del proceso

Debido a que las mejoras propuestas tienen previsto aplicarse de momento únicamente en la cabina de la base, en este apartado se procederá a describir el proceso de aplicación de esa cabina.

El proceso de aplicación se inicia cargando el circuito de impulsión del bote a la bomba. Siguiendo las indicaciones del plan de producción, se colocan los botes de pintura en cada ubicación de bomba.



Fig. 20. Imagen de la zona de bombas.

Una vez colocada la caña de aspiración en la ubicación de la bomba que vayamos a emplear, el operario activa el pilotaje neumático de la bomba manualmente para cargar el circuito de la bomba.

El operario dispondrá de 2 minutos y medio para cargar el bloque de regulación que alimenta a las dos primeras pistolas, tiempo que se obtiene del hueco de 3 útiles que se deja de una referencia de pintado a otra.

Para lograr cargar el primer bloque, el operario activa por pantalla el botón de *Ciclo completo* una vez tenga el circuito de bombeo que desea cargar seleccionado en la pantalla. Al activar este botón, el PLC manda la señal a los activadores neumáticos para abrir el circuito de pintura y cerrar el de enjuague con disolvente.

Acto seguido, las válvulas proporcionales emiten una presión neumática sobre la entrada de aire de los reguladores de producto del primer bloque. La presión neumática saliente de las válvulas proporcionales será equivalente a una señal eléctrica de corriente que enviará el PLC. El valor de corriente se obtendrá tras los cálculos realizados por el PID. Por programa, este valor equivaldrá al 100% de apertura del regulador de producto durante la carga de todo el circuito. El tiempo de carga se introducirá en el sistema y se evaluará empíricamente, ajustándose a visual.

Acto seguido se ejecutará neumáticamente el pilotaje de las 2 primeras pistolas para activar la entrada de pintura y poder aplicar por pistola. Asimismo, se activará el pilotaje de pulverización para poder atomizar el caudal saliente por la boquilla de la pistola.

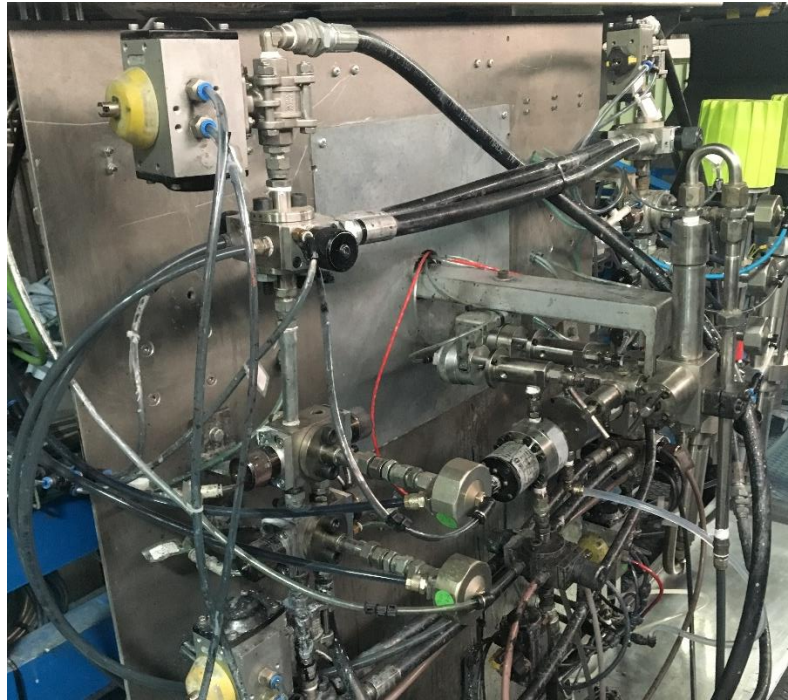


Fig. 21. Imagen bloque de regulación de las dos primeras pistolas.

Una vez ya esté cargado el primer bloque de regulación, se procederá a repetir la operativa con el segundo bloque de reguladores.

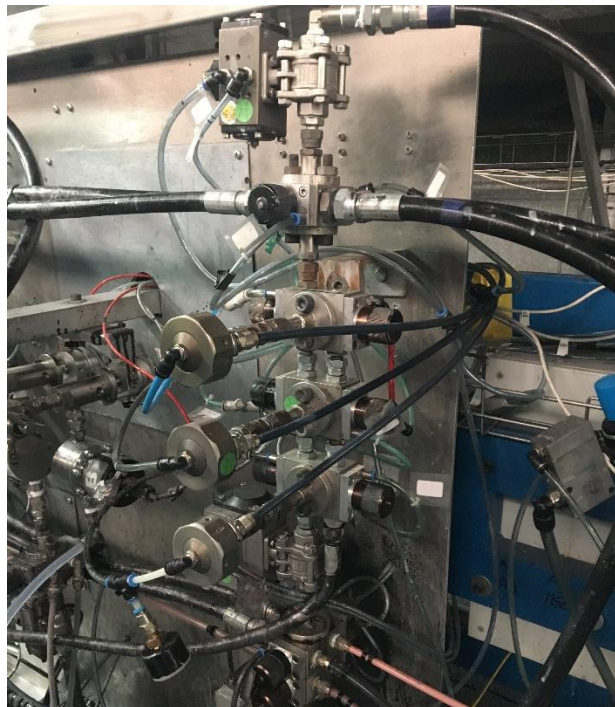


Fig. 22. Imagen bloque de regulación 3 pistolas restantes.

El motivo de instalar de manera separada los bloques de reguladores en lugar de tener un único bloque con su consecuente circuito individual (que alimentara a las 5 pistolas a la vez) es debido a que se requería mejorar la capacidad de pintado de la instalación. Gracias a esta idea, es posible comenzar a aplicar la siguiente pieza con las dos primeras pistolas mientras las restantes 3 pistolas todavía se encuentran en el proceso de enjuague con disolvente de sus circuitos. Esto permitió reducir el hueco de cambio de color entre piezas de 5 útiles a 3 útiles, con la consiguiente mejora de utilización de la máquina.

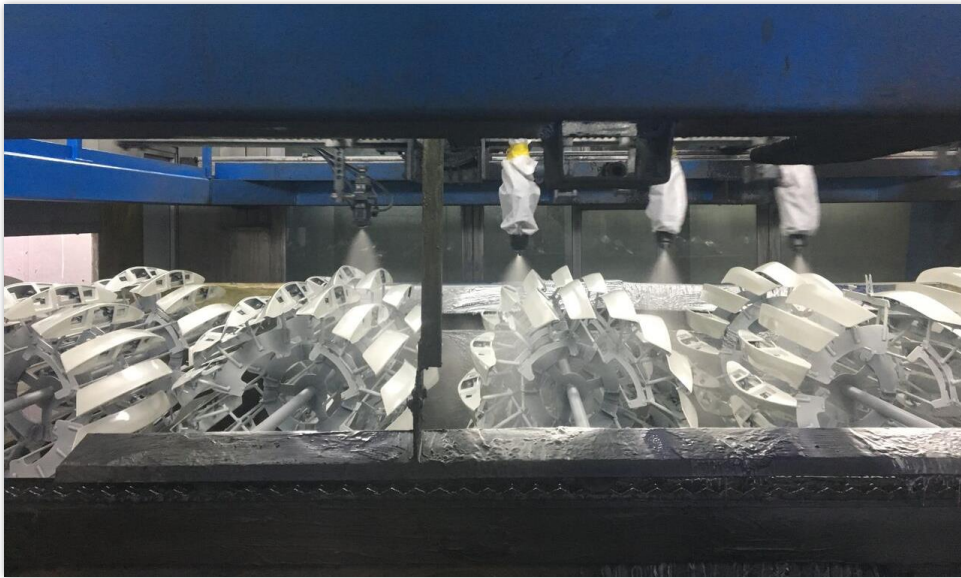


Fig. 23. Imagen robot pintando.

La operativa de enjuague del circuito con disolvente se realiza abriendo el circuito de enjuague mediante los actuadores neumáticos e impulsando disolvente a través del bloque de reguladores, el cual mantendría los reguladores de producto al 100% de apertura (asegurando la correcta limpieza de todo el circuito). A continuación, el disolvente llega bajo presión del lado del resorte de la válvula de purga a las pistolas. La válvula permanece cerrada mientras no se aplique presión de aire en su circuito de pilotaje. Al pilotarse la válvula se acciona su apertura y el disolvente empieza a fluir por el tubo de purga.

4. Descripción de los problemas

En el siguiente punto, detallo la teoría del color desde el punto de vista físico para poner en antecedentes previamente a entrar en conceptos de los controles de calidad asociados a dicha característica.

El color es una sensación que tiene lugar en nuestro cerebro percibida al incidir una luz en nuestros ojos.

Esta sensación de color puede provenir de una luz de color, de una luz blanca que atraviesa un filtro transparente coloreado, o bien del reflejo de la luz blanca en objetos opacos coloreados. Este es el caso más frecuente en las pinturas aplicadas sobre objetos.

Por tanto, para poder tener la sensación de ver el color de una pintura hace falta:

- Una fuente de luz que ilumine con intensidad suficiente.
- Un objeto pintado que la reciba y refleje.
- Unos ojos normales por los que penetre la luz reflejada.
- Un cerebro normal que interprete la señal nerviosa transmitida desde las células del fondo del ojo.

COLOR = LUZ + OBJETO + OJOS + CEREBRO

Cualquier cambio en la calidad o en el tipo de uno de estos cuatro factores hará cambiar la sensación de ese determinado color, y por tanto el color percibido será diferente.

Aplicado a nuestro campo, cuando la luz incide sobre un objeto pintado o barnizado puede comportarse de diferentes maneras, aunque, según el tipo de acabado. Los acabados presentan características como:

- Transparencia u opacidad.
- Blancura o tonalidad de color.
- Brillo o mate, en diferentes grados.

Estas características determinan que la luz sea reflejada, transmitida, refractada, absorbida, o que se dé una cierta combinación de todo ello. En los acabados transparentes la luz puede reflejarse en parte (brillo) y transmitirse el resto hasta incidir en la superficie del sustrato, volviendo a viajar a través del acabado permitiendo ver el color del fondo.

En los acabados pigmentados opacos la luz puede ser reflejada en parte en su superficie (brillo) y transmitida en parte hasta chocar con las partículas de pigmento, las cuales la reflejarán y refractarán en parte y/o la absorberán.

Para el desarrollo de este proyecto, nos vamos a centrar en la tonalidad de color, a la cual le afecta en gran medida el espesor de la capa que proporcione esta característica (capa de imprimación y/o base). En concreto, mantendremos el enfoque en el acabo tricapa, del cual ha ido aumentando progresivamente su demanda por parte de los fabricantes de automóviles.

4.1. Tecnologías de pintura. Acabados tricapa

A continuación, indicaremos la diferencia entre acabados bicapa y acabados *tricapa*:

- Los acabados ***bicapa*** están formados por una primera capa de pintura con el pigmento (base) y, si se trata de un color metalizado o perlado, las partículas

sólidas integradas en la composición. El espesor que se aplica es bajo, para obtener del orden de las 15 micras secas, y a continuación, húmedo sobre húmedo, se aplica un barniz transparente para obtener un grosor de 40-45 micras secas.

- Los acabados **tricapa** están formados por dos capas de base más la capa de barniz. Generalmente se trata de una primera capa de base compuesta únicamente por pigmentos convencionales, seguida de una base perlada muy transparente que contiene partículas sólidas de perlados o metalizados.



Fig. 24. Acabado tricapa con paleta de colores de diferentes tonalidades.

4.2. Control de calidad de aspecto de las piezas producidas

La totalidad de las piezas producidas en la instalación pasan por un proceso de control de calidad, con análisis más o menos exigentes en función del grupo automovilístico del que sea propietario el proyecto (Grupo VW, FORD...). Pese a que cada grupo automovilístico de la OEM (organización mundial de fabricantes de automóvil) desarrolla su propia norma de calidad, cada vez son más los fabricantes que incluyen en sus normas el uso de herramientas de análisis de *espectrofotocolorímetro* (denominados a partir de ahora colorímetro) para el control de la producción de sus piezas. Esto se debe porque se busca alcanzar esta concordancia de criterios de aceptación entre ambas partes, que como explicaremos a continuación, es difícil objetivar visualmente.

- **Control visual de los colores:** se precisa un estándar o patrón físico sólido y en buen estado, una muestra de producción correctamente aplicada y una cabina para

comprar colores con la misma iluminación. El técnico de calidad, que deberá estar correctamente formado bajo las últimas exigencias de calidad acordadas con el cliente, tomará la muestra de producción y el patrón para someterlos a la inspección visual. Esta deberá realizarse en diferentes ángulos y teniendo la muestra y el patrón juntos y alineados.

La formación y experiencia del técnico en este control es muy importante, ya que el conocimiento de las tolerancias respecto al patrón se adquiere con la práctica. El Ingeniero de Calidad será el encargado de asumir las desviaciones respecto a patrón junto con la colaboración del técnico.



Fig. 25. Medición a visual de un Fender de Ford respecto a patrón.

- **Control mediante colorímetros de los colores:** se requiere de precisa un estándar o patrón físico sólido y en buen estado, una muestra de producción correctamente aplicada, un colorímetro y un programa de cálculo de color adecuado al sector industrial afectado (no es el mismo para pinturas que para tintas de impresión por ejemplo). En este caso, el técnico se encargará de realizar las mediciones.

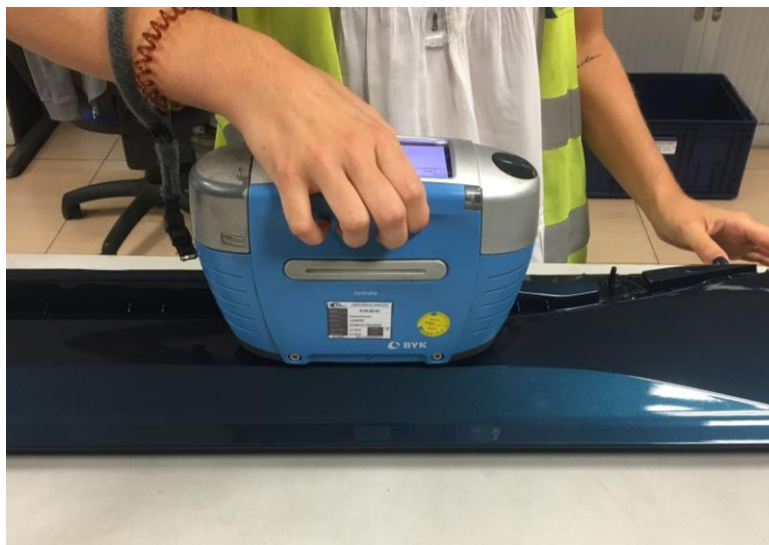


Fig. 26. Ejemplo de medición de una pieza pintada mediante un colorímetro.

Los primeros colorímetros medían los colores y las diferencias de color mediante un sistema de filtros que medían el color expresado en tres cantidades o parámetros. Los modelos actuales cuentan con un *monocromador* que separa la luz en una serie de pequeñas franjas de luz de longitudes de onda bien definidas y en intervalos muy estrechos, en la práctica cada 20 o 10 nanómetros, o incluso cada 5 nm.

El detector mide la energía luminosa reflejada para cada franja y mediante un convertidor analógico digital la convierte en un número, que es el porcentaje de luz reflejada por el objeto o muestra en cada longitud de onda.

Cuando este porcentaje de luz reflejada se dibuja en un gráfico obtenemos una curva a la que llamamos el espectro del color reflejado.

La superficie encerrada por la curva y el eje de abscisas es la cantidad total de luz reflejada por la muestra, y de acuerdo con las teorías colorimétricas se reparte en tres parámetros que permiten situar ese color en un punto del espacio alrededor de un punto central del que parten tres ejes de coordenadas.

Dentro del control mediante colorímetros, se han estudiado varios sistemas de coordenadas desde que la CIE (*Commission International de l'Eclairage*) empezó en 1931 con las X, Y, Z . El sistema más extendido es el sistema de coordenadas con parámetros L, a y b que podemos ver en la **fig. 27**.

L^*, a^*, b^* , en el que L es la medida de la claridad, y a y b son las dos medidas que indican si el color es más rojizo ($+a$), o más verdoso ($-a$), o bien si se mueve en la zona de los amarillos ($+b$) o azules ($-b$).

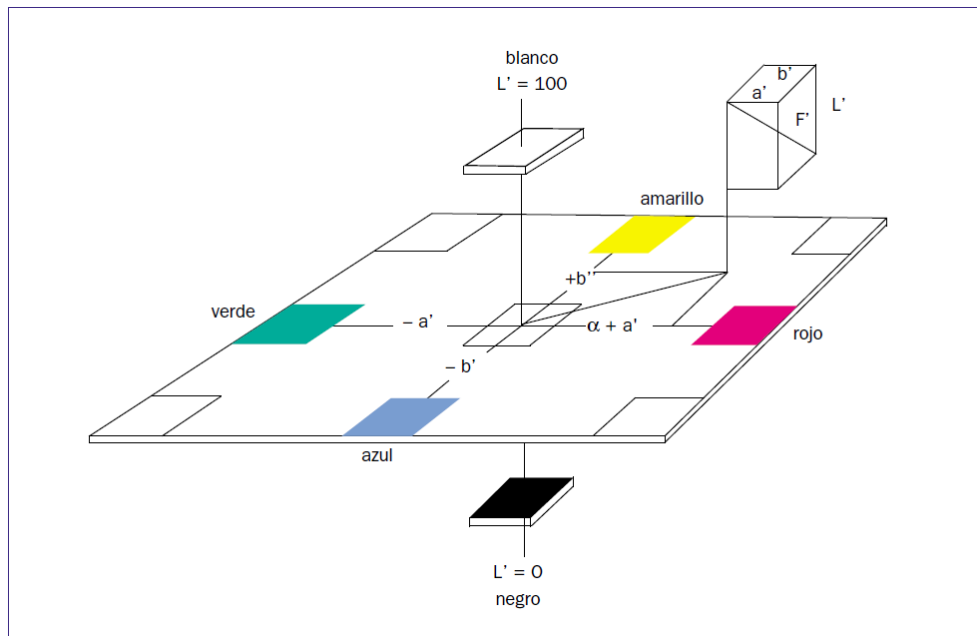


Figura 27. Sistema de coordenadas L, a y b según el CIE (*Commission International de l'Eclairage*).

Para conocer la diferencia colorimétrica entre dos colores y teniendo en cuenta que se ha extrapolado los parámetros en un eje de coordenadas, la diferencia será la distancia entre los diferentes parámetros al eje. Por lo tanto, la fórmula matemática para obtener la distancia o coeficiente ΔE (donde Δ es una letra griega que a menudo se usa para indicar la diferencia, y E significa *Empfindung*, en alemán "sensación") correspondiente será la siguiente:

$$\Delta E = (\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta L^2)^{\frac{1}{2}}$$

Es más importante tener claro el criterio de que un valor de ΔE no es suficiente para aceptar o rechazar un color. Esto es porque en todas las ecuaciones aparecen tres parámetros y por tanto sería totalmente inaceptable a la vista si toda la diferencia numérica de color estuviese cargada en uno sólo de ellos y los otros dos estuviesen igualados, es decir su diferencia fuese cero.

Por ello es conveniente fijar límites razonablemente ponderados para cada uno de los términos, pues en función de la gama del color en que nos estemos moviendo, en un color será totalmente inaceptable una ligerísima desviación en la cantidad de rojo que lleve (+a) (por ejemplo en los verdes amarillentos o en los amarillos puros) y en cambio será inapreciable una diferencia numérica mucho mayor en el factor de amarillo (+b), y posiblemente podamos aceptar una mayor diferencia todavía en la claridad (L).

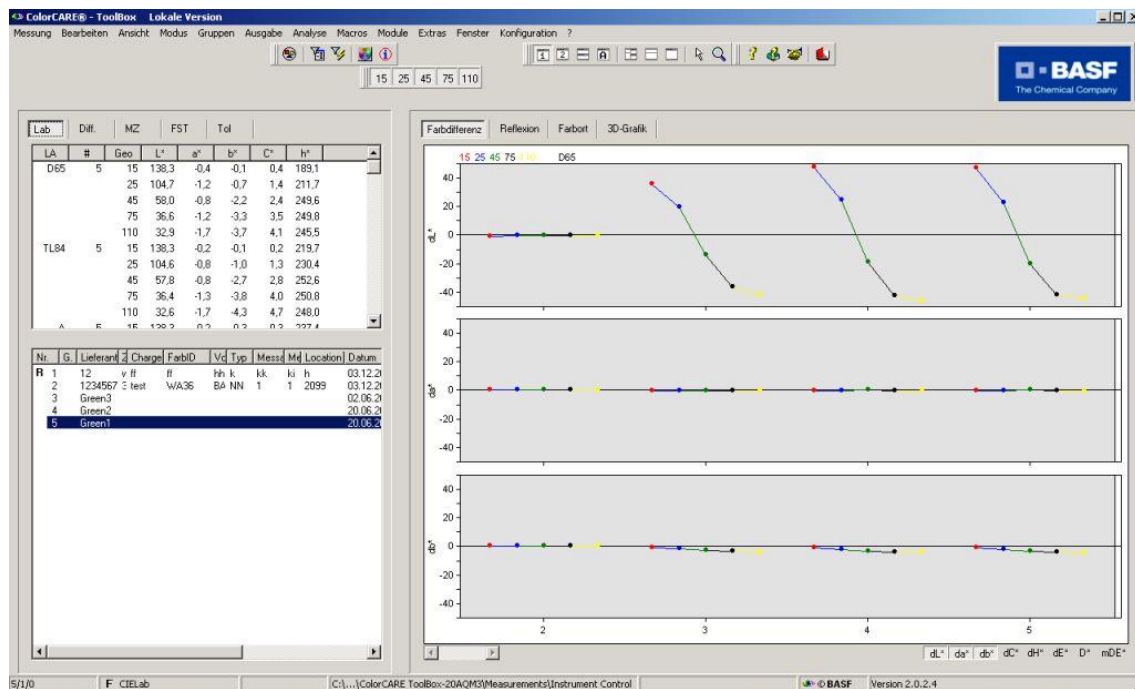


Fig. 28. Imagen de la captura de pantalla del programa de lectura de color ColorCARE de la compañía BASF.

4.3. Problemas relacionados con la aplicación de los acabados tricapa

Como hemos comentado anteriormente, la demanda de acabos tricapa en automoción va en aumento. Este último año se han homologado 2 colores nuevos de acabado tricapa para las marcas *Volkswagen* y *SEAT*, un blanco de efecto perlado *Oryx Weiss* y un rojo con efecto perlado *Velvet Red*:



Fig. 29. Modelos VW Tiguan y SEAT Ateca con los acabados tricapa mencionados.

Tomando como ejemplo el color *Oryx Weiss* para describir el problema y tal y como se ha descrito en el punto 4.1, la imprimación de este color aporta la totalidad de pigmentos blancos del acabado y la base está compuesta de resinas transparentes y partículas perladas:



Fig. 30. La plaqueta de la izquierda únicamente cuenta con la aplicación de la imprimación. La plaqueta de la derecha además lleva aplicada la base con el efecto perlado.

Miguel Juan López

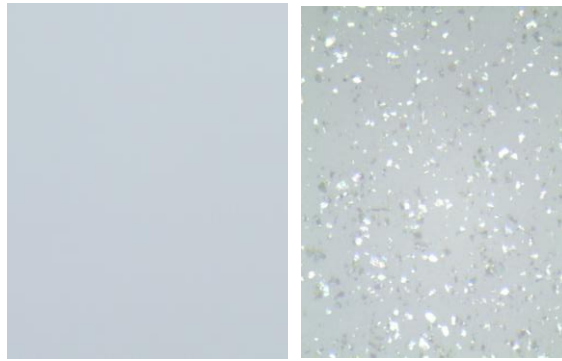


Fig. 31. Plano cenital a microscopio de la imprimación (izquierda) y de imprimación y base (derecha).

Teniendo en cuenta que la ficha técnica de la base indicaba un espesor de 12 μm , se parametrizaron los caudales habituales para ese tamaño de pieza y el requerimiento de espesor indicado. Conforme fueron aumentando el número de producciones, se percibía en las lecturas colorimétricas de cada pieza una variabilidad muy alta:

Lab	Farbdifferenzen			MZ	FST	Tol	Effektwerte absolut		Effektwerte Differenzen	T
LA	#	Geo	<dL>	<da>	<db>	<dC>	<dH>	<dE>	MI	
D65	2	15	2,39	-0,30	0,21	0,14	-0,34	2,41		
		25	1,15	0,73	0,07	-0,69	-0,25	1,36		
		45	-1,01	0,67	1,68	1,10	-1,44	2,08		
		75	-0,93	0,67	1,44	0,97	-1,26	1,84		
		110	-0,15	0,78	1,56	0,98	-1,44	1,75		
D65	3	15	2,44	-0,59	0,08	0,45	-0,38	2,51		
		25	1,09	0,73	0,02	-0,71	-0,20	1,32		
		45	-1,08	0,69	1,68	1,10	-1,45	2,11		
		75	-0,93	0,61	1,40	0,95	-1,19	1,79		
		110	-0,08	0,72	1,47	0,91	-1,36	1,64		
D65	4	15	2,03	0,00	-0,09	0,05	0,07	2,03		
		25	0,73	0,81	-0,11	-0,81	-0,05	1,10		
		45	-0,70	0,62	1,36	0,82	-1,26	1,65		
		75	-0,15	0,56	1,02	0,60	-0,99	1,17		
		110	0,59	0,72	1,01	0,47	-1,14	1,37		
D65	5	15	2,01	-0,10	0,21	-0,03	-0,23	2,02		
		25	0,77	1,11	0,20	-0,98	-0,57	1,37		
		45	-1,02	0,92	1,70	1,05	-1,62	2,18		
		75	-0,59	0,71	1,38	0,90	-1,26	1,66		
		110	0,18	0,68	1,40	0,85	-1,30	1,56		
D65	6	15	1,77	-0,14	-0,12	0,19	0,01	1,78		
		25	0,56	1,08	-0,10	-1,08	-0,15	1,22		
		45	-0,55	0,83	1,22	0,61	-1,34	1,57		
		75	0,38	0,59	0,63	0,23	-0,84	0,95		
		110	1,13	0,61	0,65	0,19	-0,88	1,44		

Fig. 32. Lecturas colorimétricas con alta variabilidad.

En anteriores ocasiones, la causa raíz de estas variaciones está asociada a alteraciones del espesor usual de la pieza en cuestión. Después de analizar el espesor de un número representativo de piezas cortando láminas de estas y observándolas al microscopio, no se apreciaban diferencias lo suficientemente altas como para producir lecturas tan cambiantes de <dE> y fuera de rango (valores de un rango en 0,95 y 2,51).

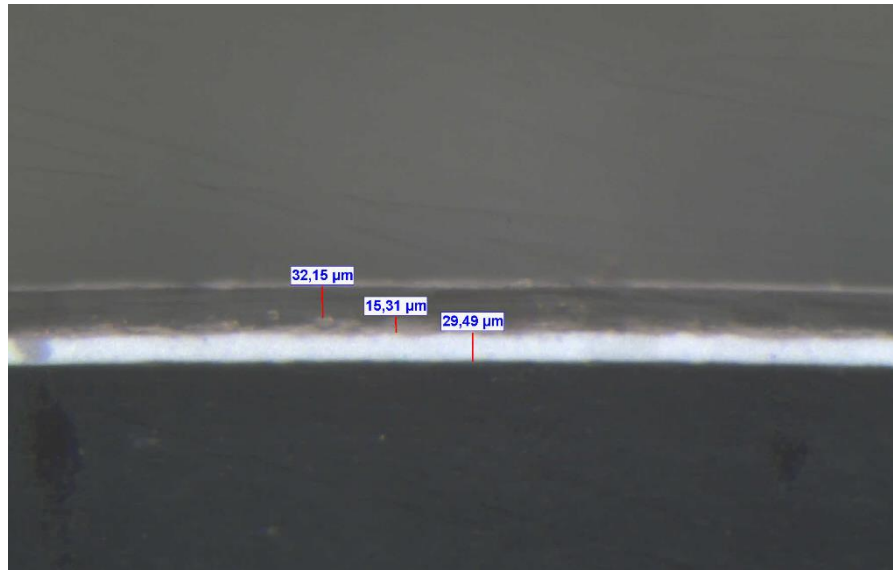


Fig. 33. Imagen de la sección de una lámina de una pieza vista a microscopio.

Por tanto, de las medidas de control habituales no se podían extraer datos concluyentes. Tras sucesivas reuniones con el personal del Servicio de Atención Técnica (SAT) del proveedor de pintura, en este caso *AKZO Nobel*, y asumiendo que el efecto perlado de la base es el componente de la pintura que más correlación tiene con la colorimetría, procedimos a realizar análisis de microscopía de la superficie de las piezas en plano cenital. El objetivo era obtener datos de la densidad de partícula (en este caso, partículas perladas) por superficie que se estaba obteniendo en la producción actual, pudiendo observar este resultado:

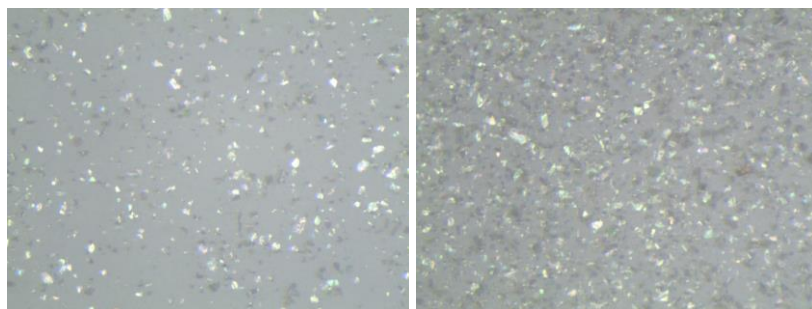


Fig. 34. Vista cenital de la superficie de dos piezas diferentes de una misma producción, observando baja densidad de partícula en la imagen de la izquierda y alta densidad en la de la derecha.

Partiendo de la base de que sucedía de manera repetitiva y que las piezas eran de una misma producción (aplicadas con los mismos parámetros), descartamos cualquier modo de fallo asociado a error humano o a fallo de máquina. Ante esta situación, asumimos que la tolerancia actual y genérica a todas las referencias en la variabilidad del caudal de pintura no

era aceptable para este color. Y lo mismo ocurría con el color rojo *Velvet Red* nombrado al inicio de este punto. Se trataba de un problema común en los acabados tricapa.

Para validar esta teoría, se procedió a diluir la base del efecto perlado con mayor porcentaje de resinas y a aumentar los caudales de aplicación que, conforme más bajos son, más representativo es el valor absoluto de tolerancia en el caudal de salida respecto a un valor bajo de caudal de consigna. Con esto se lograría disminuir la contribución por pistola en la aplicación del efecto perlado, distribuyendo de manera más homogénea la partícula perlada por pasada. Además, al poder aumentar el caudal de las pistolas, menos afectará la tolerancia en el caudal de salida al valor de caudal de consigna.

PARÁMETROS DE PINTADO		
Parámetro	Antes	Después
Disolvente Composición	30% de disolvente	35% de disolvente
Resina Composición	20%	30%
Viscosidad	18 segundos	17,5 segundos
Caudales de base	170 cc por pistola (4 pistolas)	240 cc por pistola (4 pistolas)

Fig. 35. Resumen de modificaciones realizadas para mejorar la colorimetría en el Oryx Weiss.

Los resultados colorimétricos tras la modificación de componentes fueron positivos, obteniendo un rango dentro de pauta de $\langle dE \rangle$ (entre 0,66 y 1,68):

Lab	Farbdifferenzen			MZ	FST	Tol	Effektwerte absolut		Effektwerte Diffe
LA	#	Geo	$\langle dL \rangle$	$\langle da \rangle$	$\langle db \rangle$	$\langle dC \rangle$	$\langle dH \rangle$	$\langle dE \rangle$	MI
D65	2	15	1,08	0,02	-0,41	0,25	0,33	1,15	
		25	0,02	0,86	-0,68	-0,85	0,70	1,10	
		45	-0,30	0,58	0,33	-0,10	-0,66	0,73	
		75	0,85	0,47	-0,17	-0,42	-0,27	0,99	
		110	1,44	0,66	-0,17	-0,55	-0,39	1,59	
D65	3	15	1,59	-0,05	-0,53	0,38	0,37	1,68	
		25	0,37	0,84	-0,48	-0,87	0,43	1,04	
		45	-0,75	0,60	0,58	0,11	-0,83	1,12	
		75	0,02	0,45	0,07	-0,21	-0,41	0,46	
		110	0,62	0,62	0,10	-0,31	-0,55	0,89	
D65	4	15	1,55	0,17	-0,23	0,02	0,28	1,57	
		25	0,27	0,98	-0,18	-1,00	0,00	1,03	
		45	-0,61	0,64	0,88	0,36	-1,02	1,25	
		75	0,28	0,52	0,30	-0,04	-0,60	0,66	
		110	0,97	0,71	0,28	-0,19	-0,74	1,24	

Fig. 36. Lecturas colorimétricas con baja variabilidad tras la modificación.

Las lecciones aprendidas en la problemática asociada a los acabados *tricapa*, motivaron la necesidad de mejorar la regulación del caudal de pintura; se logró demostrar que la tolerancia en el valor de caudal de salida, que hasta ahora no había afectado a la calidad del proceso, no era aceptable para los acabados *tricapa*. Esto, junto a los aumentos por parte de los fabricantes en la demanda de esta tecnología de acabados, motivó el estudio de la mejora del control de caudal de pintura en la cabina de la base.

5. Mejoras propuestas

Tal y como se ha explicado en el punto 3.2 y teniendo como objetivo la mejora de la regulación del caudal de pintura, las propuestas que se plantearon estuvieron centradas en la herramienta de medición de esta variable (los caudalímetros másicos) y el tratamiento de esta variable (la programación de este PLC). Por tanto, son 3 las mejoras sugeridas:

- Mejoras asociadas intrínsecamente a los caudalímetros:
 - Nueva disposición de los caudalímetros másicos.
 - Cambio de lectura de pulsos a analógica.
- Mejoras asociadas a la programación del PLC:
 - Cambio de control de regulación del caudal de sistema por aproximaciones a sistema PID.

5.1. Nueva disposición de los caudalímetros másicos

La primera medida que se adoptó para mejorar la regulación del caudal de pintura durante el proceso fue la modificación de la disposición de los caudalímetros másicos.

Las incidencias de *Zero Points* o resets realizados a los caudalímetros durante la producción podía ser de hasta 5 veces en un mismo día en determinados meses, situación que afectaba a la utilización de la máquina debido a los paros realizados para acometer la intervención del equipo de mantenimiento.

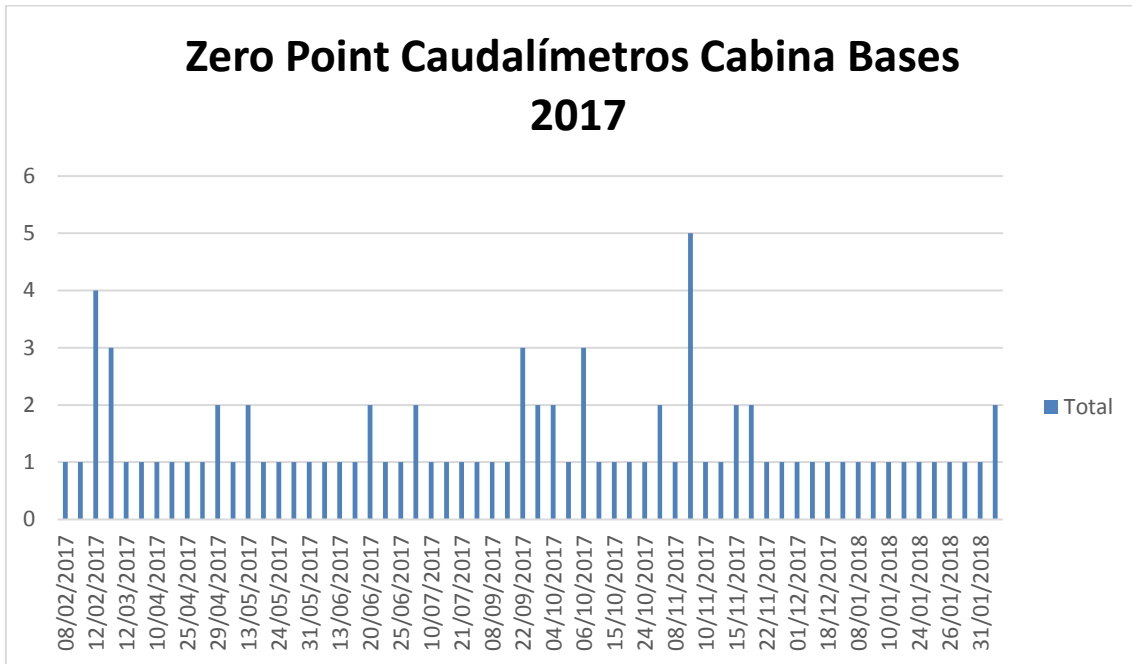


Fig. 37. Gráfico de avisos de incidencias por Zero Point a caudalímetros durante 2017.

Durante estas intervenciones de mantenimiento pudimos relacionar la incorrecta medición de caudal de los caudalímetros a bolsas de aire atrapadas en el conducto de salida de fluido de estos equipos. Estas bolsas de aire entrarían en el circuito de pintado tras una incorrecta instalación de uno de los equipos de pintado (ya fueran reguladores de caudal, válvulas de aguja de accionamiento neumático para el control del paso del fluido, mangueras de paso de producto...) durante el TPM (*Task Preview Mantineance* o Tareas de Mantenimiento Preventivo).



Fig. 38. Foto de la anterior disposición de los caudalímetros.

Revisando el manual de instalación de los caudalímetros, observamos que se había pasado por alto durante la instalación de estos equipos la advertencia del fabricante sobre la disposición en la que debían colocarse estos aparatos:

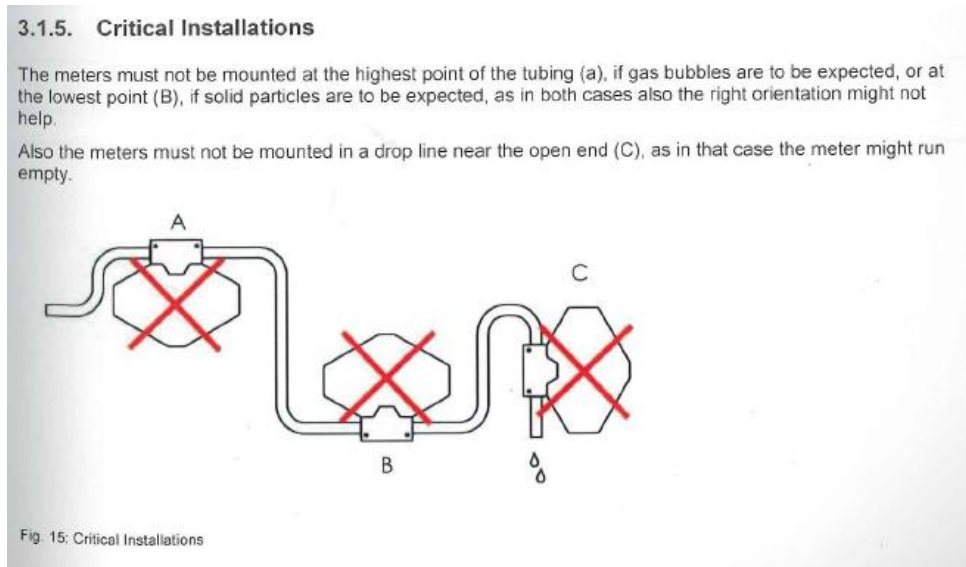


Fig. 39. Imagen de las instalaciones críticas a evitar según el manual del fabricante del caudalímetro.

El fabricante indica en el manual varios consejos de instalación y en concreto dos de los puntos afectan a nuestra instalación en mayor medida.

- A. No ubicar los caudalímetros en el punto más alto del circuito si pueden entrar en éste bolsas de aire.
- B. No ubicar los caudalímetros en el punto más bajo del circuito si puede circular por el paso del fluido partículas sólidas.

Tal y como se puede observar en la **fig. 38**, en nuestra instalación los caudalímetros se disponen de tal manera que son el punto más alto del circuito pese a conocer la posibilidad de que pueda entrar aire en el circuito del fluido (por ejemplo, si el operario de aplicación se descuida y se vaciara el bote de pintura que se empleaba en ese mismo momento. Por tanto, se deduce que la burbuja de aire no es capaz de fugarse del sistema, quedando atrapada por acción de la gravedad en el punto más alto de todo el circuito.

En referencia al punto B de instalaciones críticas del manual del fabricante, se debía tener en cuenta además que por el circuito impulsaremos pintura con partículas metálicas cuando se trate de un color metalizado. Por lo tanto, los caudalímetros tampoco se podían disponer en la nueva ubicación en el punto más bajo del sistema.

Tras estudiar el impacto económico de varias propuestas de modificación de la ubicación de estos equipos, finalmente se optó por la decisión de rotar 90º la disposición de los caudalímetros añadiendo una viga de soporte fijada a una estructura de la que ya se disponía. Además, se montó un rejiband que queda por encima de los caudalímetros y por el

que se fijarían las mangueras de impulsión de caudalímetro a pistolas de pulverización, tal y como se puede apreciar en la **fig. 40**.



Fig. 40. Foto tras la modificación de la disposición de los caudalímetros acorde al manual de instalación del modelo.

Tras esta modificación llevada a cabo el 24 de febrero de 2018, la ocurrencia de averías por necesidad de realizar un *Zero Point* a alguno de los caudalímetros por error de lectura ha disminuido considerablemente, pudiendo confrontar los datos de todo 2017 vistos en **fig. 37** con los primeros 7 meses del año 2018 en la tabla de la **fig. 41**.

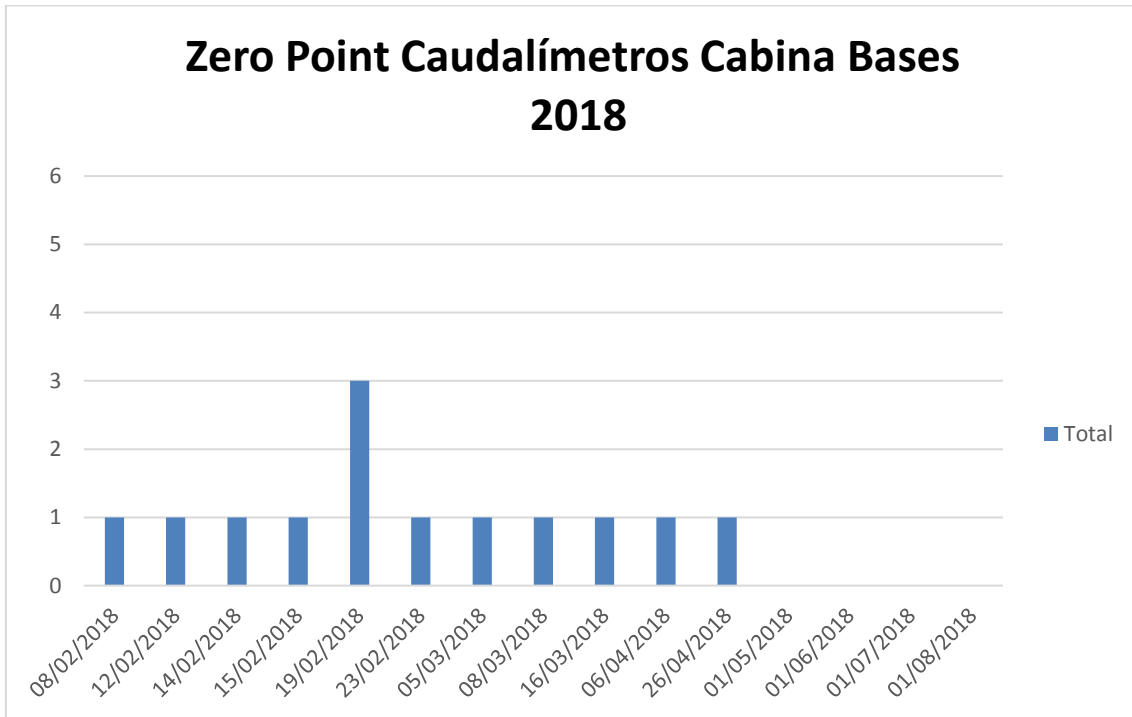


Fig. 41. Gráfico de avisos de incidencias por Zero Point a caudalímetros durante 2018.

5.2. Cambio de lectura de datos de pulsos a analógica

Con el objetivo de lograr una mejora en la rapidez de la regulación del caudal de pintura, se ha propuesto el cambio de la tarjeta de contaje rápido modelo **FM 350-1**, encargada de enviar los datos de lectura de los caudalímetros al PLC, por una tarjeta de entradas analógicas modelo **331-1KF02-0AB0**.

El principio de medición de la tarjeta **FM 350-1** se basa en un contaje de cada flanco ascendente de un pulso y le asigna un valor de tiempo en μs . El tiempo de medición dinámico está definido como la diferencia entre dos valores de tiempos.

En una secuencia de pulsos con uno o varios pulsos por intervalo de tiempo de actualización vale lo siguiente:

T_m = Tiempo de medición dinámico.

V_{ta} = Valor de tiempo del último pulso en el intervalo de tiempo de actualización actual.

V_{tp} = Valor de tiempo del último pulso en el intervalo de actualización precedente.

$$T_m = V_{ta} - V_{tp}$$

Si tras calcular el tiempo de medición dinámico aparecen intervalos de actualización sin pulsos, entonces el tiempo de medición se prolonga en estos intervalos. Si el valor "1 pulso por tiempo de medición dinámico" es inferior al último valor medido, entonces este valor se emite como nuevo valor.

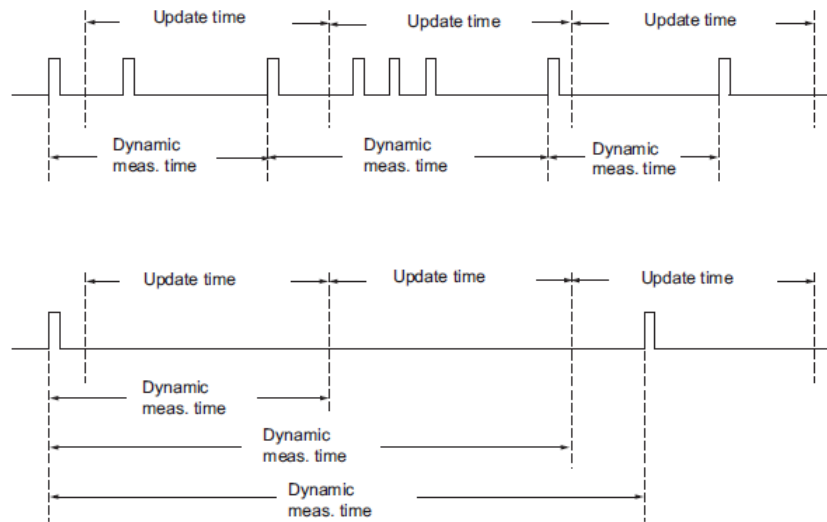


Fig. 42. Principio de medición de las tarjetas de contaje rápido **FM 350-1**.

El **FM 350-1** mide de forma continua. En la parametrización se preselecciona un tiempo de actualización. La medición continua comienza tras abrirse la puerta con el primer pulso de la secuencia de pulsos a medir. El primer valor medido se puede calcular solo después del segundo pulso.

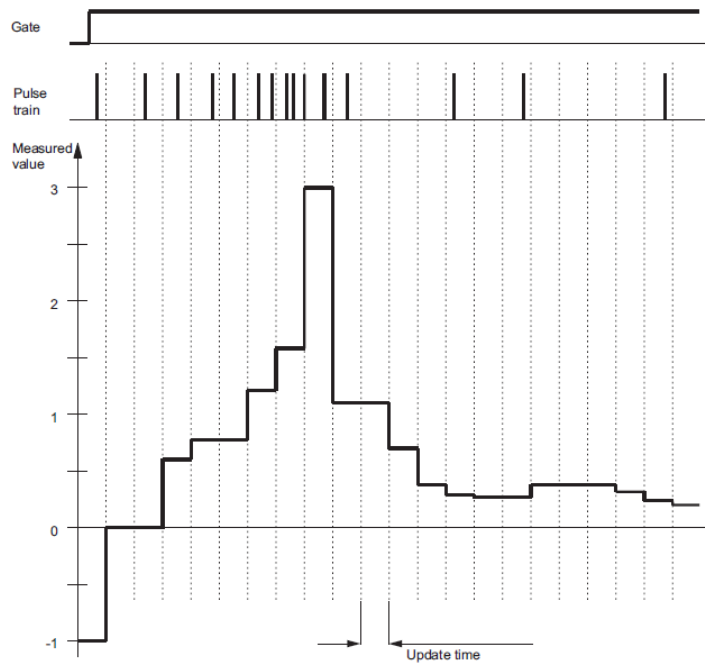


Fig. 43. Principio de medición continua de las tarjetas de contaje rápido **FM 350-1**.

El modo de contaje programado era continuo. En este modo de operación el **FM 350-1** cuenta continuamente a partir del estado del contador:

- Cuando el contador alcanza el límite superior contando hacia adelante y recibe un impulso de contaje adicional, salta al límite inferior de contaje y sigue contando desde allí sin perder impulsos.
- Cuando el contador alcanza el límite inferior contando hacia atrás y recibe un impulso de contaje adicional, salta al límite de contaje superior y sigue contando desde allí sin perder impulsos.

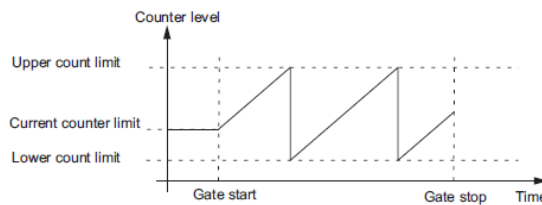


Fig. 44. Contaje continuo con control de puerta de las tarjetas de contaje rápido **FM 350-1**.

Con un solo pulso de lectura de caudal, el sistema no era capaz de realizar las operaciones de conversión y lograr un valor de salida de regulación estable. El sistema requería de lotes de pulsos de lectura de caudal para obtener valores de salida idóneos, dilatando el tiempo de regulación.

En cambio, con la modificación a tarjeta de entradas analógicas, en lugar de recibir lotes de pulsos, la tarjeta de entradas analógicas convierte el valor analógico de lectura del caudal para enviarlo al PLC. De este modo, con cada *scan* del PLC el PID realiza las operaciones con un valor de lectura de caudal más actualizado, obteniendo un valor de salida de regulación más exacto.

5.3. Cambio de control de regulación del caudal de sistema por aproximaciones a sistema PID

Hasta la fecha, el control del caudal de pintura en esta instalación estaba basado en un sistema de aproximaciones. Con este tipo de control, el sistema recibía el valor de consigna de caudal de pintura seleccionado por el operario y comenzaba una regulación muy basta que seguía los siguientes pasos:

1. Almacenaba los valores de salida de las proporcionales de la anterior regulación.
2. Ante el caudal de consigna seleccionado por pantalla, el sistema dividía por la mitad los valores de caudal y, en función de si el caudal de consigna fuera mayor o menor que el anterior, sumaba o restaba el valor de la división a los valores de control de las válvulas proporcionales.

V_{sc} = Valor de caudal de consigna siguiente.

V_{ac} = Valor de caudal de consigna anterior.

Si $V_{sc} > V_{ac}$, entonces:

$$V_{sc} = V_{ac} + \left(\frac{V_n}{2}\right)$$

Si $V_{sc} < V_{ac}$, entonces:

$$V_{sc} = V_{ac} - \left(\frac{V_n}{2}\right)$$

Esta operación se repite con la llegada de cada lote de pulsos, obteniendo una salida de regulación lenta y escalonada.

Ante esta situación, la propuesta es integrar un PID en el programa que emplee el valor de lectura de caudal convertido por la **331-1KF02-OABO** (y que es registrado en cada *scan* del PLC) para obtener el valor de salida de regulación.

El diagrama de flujo del sistema de regulación propuesto sería el siguiente:

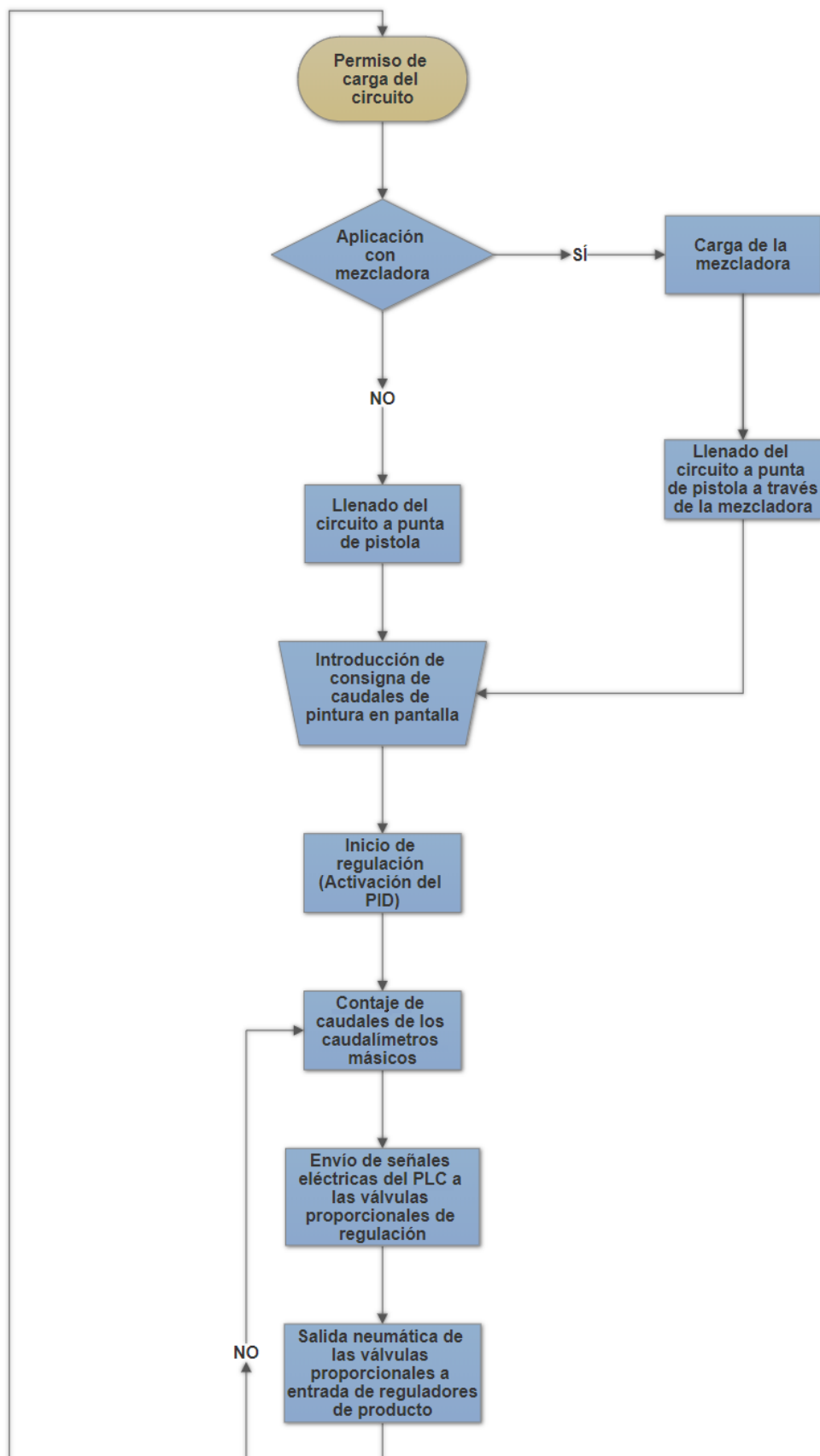


Fig. 45. Diagrama de flujo del proceso de aplicación de pintura.

Miguel Juan López

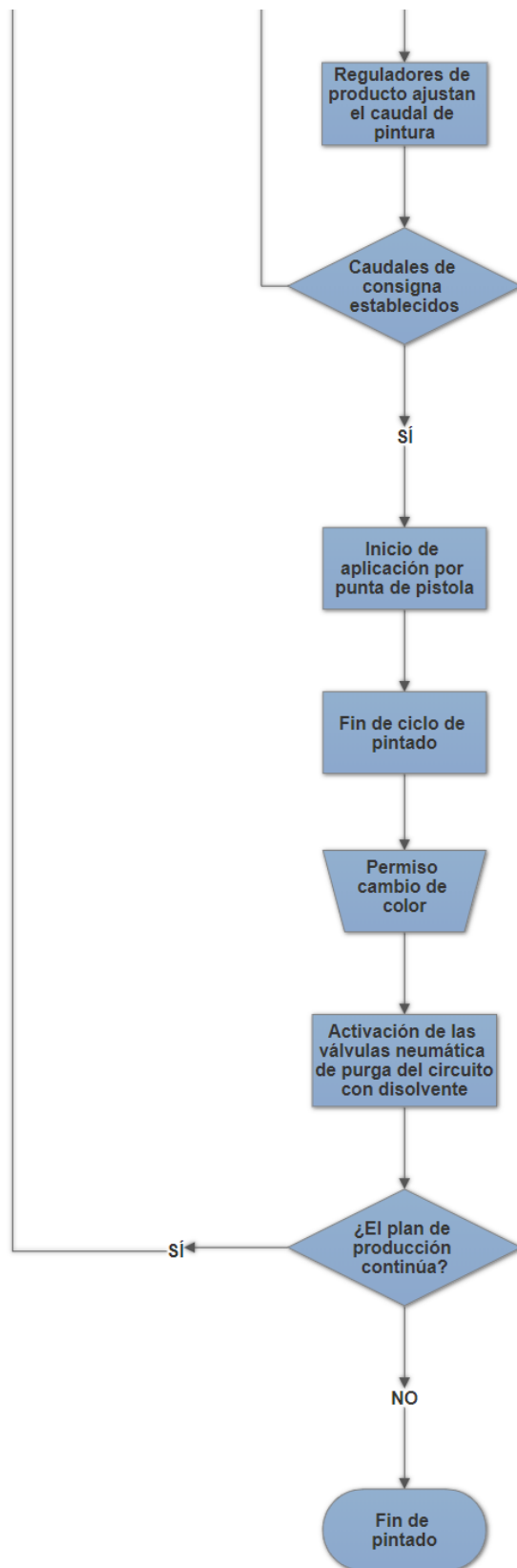


Fig. 46. Diagrama de flujo del proceso de aplicación de pintura.

6. Conclusiones

Las 3 mejoras planteadas en este proyecto enfocadas en el objetivo marcado, la mejora del control de caudal de pintura en la instalación IPRO, han sido implantadas con éxito.

La primera propuesta, dirigida a asegurar un funcionamiento estable del proceso de lectura del caudal de pintura llevado a cabo por los caudalímetros másicos, tuvo una rápida implementación. Se minimizaron así las mediciones erráticas, perturbaciones que afectaban al proceso de aplicación, reduciendo en consecuencia las intervenciones repetitivas que debían acometer los técnicos de mantenimiento. Esta mejora es quizá, la más importante de todas teniendo en cuenta la causa de su problemática. Recuerda la importancia de revisar, previamente al uso de cada componente o equipo que se adquiera, los manuales de instalación y los requerimientos técnicos que aporta el fabricante.

Orientada también en el proceso de lectura que realizan los caudalímetros másicos, la siguiente propuesta garantiza que el sistema de control del caudal de pintura obtiene una medición en tiempo real del caudal. El PID integrado realiza las operaciones con un valor de caudal actualizado en cada scan del PLC, por lo que el valor de salida de regulación se aproxima con mayor rapidez al valor de consigna de caudal al que debe llegar.

Y es que la integración del PID en la programación del sistema, tercera mejora implementada, en sustitución del lento sistema heurístico que se encontraba en funcionamiento, también reduce el tiempo necesario para que el sistema sea capaz de obtener una salida próxima a la consigna deseada. Además, la variabilidad en el valor de salida del caudal de pintura se disminuye notablemente, por lo que la ocurrencia de la problemática descrita en el apartado 4.3. *Problemas relacionados con la aplicación de los acabados tricapa* también se reduce. Y es que, gracias a esta estabilización del caudal de pintura, se robustece el proceso de aplicación, obteniendo mejoras en la repetitividad y exactitud de los espesores de capas de pintura en toda la gama de colores. Esta mejora está directamente relacionada con las lecturas colorimétricas, tal y como hemos demostrado también en el punto 4.3.

Cabe destacar el trabajo dedicado en la evaluación y establecimiento de la causa raíz de los problemas relacionados con las mediciones de colores erráticas en los acabados *tricapa*. El buen hacer en esta investigación, estableciendo además las medidas de contención que aseguraran el servicio de piezas a cliente, aisló las posibles causas y facilitó la identificación de los focos con mayor margen de mejora.

Y es que, para el avance logrado en la robustez del proceso de aplicación, la inversión no es excesiva teniendo en cuenta otros ejemplos de mejoras que se acometen en el sector.

Tras la finalización de este proyecto, he asentado mis conocimientos sobre las técnicas de regulación de fluidos en un proceso industrial, sobre la teoría concerniente a la naturaleza de la pintura y sobre el funcionamiento de los equipos de pintado de la instalación **IPRO**.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y
AUTOMÁTICA**

PLIEGO DE CONDICIONES

***Estudio e implantación de la mejora del control de caudal de
pintura en una instalación de pintado de piezas plásticas para
automoción.***

AUTOR: MIGUEL JUAN LÓPEZ

TUTOR: RICARDO PIZÁ FERNÁNDEZ

VALENCIA, SEPTIEMBRE 2018

Índice

1. Definición y alcance del pliego de condiciones	51
1.1. Objetivo del pliego	51
1.2. Descripción general del montaje	51
2. Condiciones y normas de carácter general	51
3. Condiciones de los materiales	52
3.1. Ordenador personal	52
3.2. Dispositivo de control (PLC)	53
3.3. Tarjeta de entradas analógicas	53
4. Estudios de legislación.....	54

1. Definición y alcance del pliego de condiciones

1.1. Objetivo del pliego

El presente pliego de condiciones tiene por objetivo reunir las distintas condiciones técnicas que se debe seguir para una correcta ejecución del proyecto expuesto en este documento.

El objetivo del trabajo de fin de grado recogido en este documento es el diseño e implementación de un sistema automatizado de control de calidad para productos empaquetados en el sector cárnico.

En diversos momentos se podrá adoptar soluciones diferentes a las expuestas en este documento, por la propia naturaleza y desarrollo tecnológico del mismo, siempre que se aleguen dichas soluciones sin que ello disminuya la funcionalidad inicialmente requerida.

1.2. Descripción general del montaje

El orden de ejecución para implementar el proyecto queda definido en la siguiente lista.

1. Adquisición de los materiales
2. Sustitución de tarjeta de entradas digitales por tarjeta de entradas analógicas.
3. Calibración de los caudalímetros másicos.
4. Conexión de la maquinaria al PLC.
5. Interconexión y visualizado de entradas y salidas.
6. Comprobación del correcto funcionamiento de la máquina.
7. Comprobación del correcto funcionamiento del programa.

El encargado de la realización del proyecto debe ser un profesional cualificado capaz de resolver cualquier problema en cuanto a errores de programación, errores de la máquina o errores del PLC y buscar soluciones posibles para errores de conexión.

2. Condiciones y normas de carácter general

Si durante la realización del proyecto se produce algún tipo de fallo en algún componente y se tuviera que sustituir por cualquier motivo, éste se tendría que sustituir por uno de características similares y siempre con la aprobación del director del proyecto. Si se produce algún fallo la responsabilidad recae sobre la persona que lo haya realizado sin la adecuada autorización.

Se debe verificar el correcto funcionamiento de cada componente para ver que se cumplen las especificaciones técnicas dadas en el data sheet por parte del fabricante.

El proyecto deberá cumplir la normativa vigente impuesta para este tipo de proyectos de automatización de procesos.

3. Condiciones de los materiales

Como los materiales que se utilizan en el presente proyecto son materiales normalizados, no presentan problemas para ser obtenidos.

Dichos productos no se podrán cambiar por otros de distintas marcas aunque posean las mismas características, por motivos de incompatibilidad de los programas utilizados. En caso de no poder evitar la utilización de productos de distintas características a los nombrados en ese documento, se deberá modificar y adaptar los programas a dichos productos para conseguir el correcto funcionamiento.

El director del proyecto no se responsabiliza del mal funcionamiento, ya que no son usados los materiales aquí expuestos. Dado que los autómatas son de una marca conocida y valorada en el sector de la automatización industrial y no debería ser un impedimento conseguir recambios de materiales con las mismas características.

3.1. Ordenador personal

Para un correcto funcionamiento de la aplicación se exigen unos requisitos mínimos tanto en hardware como en software del equipo utilizado para su programación.

Esto representa una parte importante para el correcto funcionamiento del proceso realizado, dada que la comunicación entre PC y PLC debe ser aceptable para garantizar esto.

Preferiblemente ha de ser un ordenador portátil debido a posibles transportes en las zonas de control de los procesos. De este modo en cualquier fallo de los procesos se puede conectar el portátil y pasar el programa del PLC al PC para su comprobación y su ajuste de los posibles fallos, como también se facilitaría la programación PC a PLC una vez solucionados los problemas.

Los requisitos mínimos para garantizar un funcionamiento óptimo en cuanto al PC son los siguientes:

Características del hardware:

- Procesador: Intel Pentium 4 1.7 GHz.
- Memoria RAM: 1 GB.
- Disco duro: 10 GB.
- Pantalla: 15,6" (1024 x 768).
- Conexión a la red.
- Unidad de CD-ROM
- Puertos serie COM
- Ratón y teclado

Características del software:

- Sistema operativo Windows 2000 o superior.
- Programa Siemens *SIMATIC STEP 7 V5.2*.

3.2. Dispositivo de control (PLC)

Dado que el objeto de este proyecto no trata la implementación desde inicio del sistema de automatización, sino que trata de la modificación de la instalación actual, el PLC empleado es el Siemens S7-300 que ya se encontraba instalado. Este modelo integra:

- CPU *315-2AG10-0AB0*.
- Puerto Profibus.
- Entradas Digitales:
 - 1 ud. x *321-1BL00-0AA0*
- Salidas Digitales:
 - 2 uds. x *322-1BL00-0AA0*.
- Entradas Analógicas:
 - 1 ud. x *331-1KF02-0AB0*.
- Salidas Analógicas:
 - 2 uds. x *332-5RD00-0AB0*.
 - 1 ud. x *332-5HF00-0AB0*.
- Memoria de datos: 128 kbyte.
- Rango de entrada: 20,4V – 28,8V.
- Tapa de acceso a los bornes.
- Indicador visual de presencia de alimentación.
- Indicador visual de entradas y salidas activas.
- Bornes de masa.

Cumple con las leyes de seguridad eléctrica certificadas, incluyendo las protecciones sobre:

- Cortocircuitos.
- Sobretensiones.
- Perturbaciones presentes en la fábrica.
- Perturbaciones de red.
- Tensiones de red fuera de rango.

Incluirá la señalización necesaria para su correcta operación e incorporará controles automáticos. Además, se garantiza el funcionamiento en un rango de temperaturas entre y una humedad relativa sin condensación.

3.3. Tarjeta de entradas analógicas

Se sustituirá una tarjeta de contaje rápido modelo **FM 350-1** por una tarjeta de entradas analógicas modelo **331-1KF02-0AB0**.

A esta tarjeta se le conectarán cada salida analógica de los 5 caudalímetros ya instalados.



Fig. 1. Tarjeta de entrada analógica modelo 331-1KF02-0AB0

A la hora de cablear las salidas de los 5 caudalímetros, se deberá emplear cableado y conectores que cumplan con la norma UNE-EN 60079-10 y RD 681/2003.

4. Estudios de legislación

Se detallará a continuación toda aquella legislación que se tiene que tener en cuenta para la realización de dicho proyecto:

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT), así como la Guía Técnica asociada a éste.
- RD 1580/2006, de 22 de diciembre, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos.
- RD 7/1988, de 8 de enero, relativo a las exigencias de seguridad del material eléctrico (y posteriores modificaciones por RD 154/95).
- RD y Normas UNE relativas al montaje, utilización y mantenimiento de autómatas.
- RD 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.
- Norma UNE-EN 60079-10 relativas a la clasificación de zonas con riesgo de incendio y explosión (ATEX).
- EN 62061:2005: Seguridad de las máquinas. Seguridad funcional de sistemas de mando eléctricos, electrónicos y programables relativos a la seguridad.
- EN ISO 16484:2003: Automatización de edificios y sistemas de control.
- Norma IEC-1131 sobre la estandarización de los lenguajes de programación y sobre los diferentes tipos de autómatas programables y sus periféricos.

- Manual y Guía de Usuario del elemento de control.
- Manual de funcionamiento del software utilizado para la programación.

Por otro lado, la adquisición de los materiales corresponde a la empresa en cuestión que vaya a realizar el proyecto.

Antes de su montaje se comprobarán los materiales para evitar el mal funcionamiento de los mismos.

La legislación que debe llevarse a cabo para esas comprobaciones es la siguiente:

- UNE 20-512-74/2 "Fiabilidad de equipos y componentes electrónicos".
- UNE 20-504-84 "Métodos de medida de las características antiparásita de filtros pasivos y otros dispositivos de perturbaciones radioeléctricas".
- UNE 20-501-85/2 "Ensayos fundamentales, climáticos y de robustez".



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

PRESUPUESTO

***Estudio e implantación de la mejora del control de caudal de
pintura en una instalación de pintado de piezas plásticas para
automoción.***

AUTOR: MIGUEL JUAN LÓPEZ

TUTOR: RICARDO PIZÁ FERNÁNDEZ

VALENCIA, SEPTIEMBRE 2018

Índice

1. Presupuesto	58
1.1. Recursos de Hardware	58
1.2. Recursos de Software.....	59
1.3. Recursos humanos.....	59
1.4. Coste total del proyecto	60

1. Presupuesto

El siguiente documento comprende la documentación detallada del presupuesto del proyecto que se está realizando, con el objetivo de hacer una estimación del gasto económico que tiene dicho proyecto.

En el presupuesto detallaremos los gastos derivados de todos los recursos que han sido utilizados (recursos de hardware, recursos de software y recursos humanos):

- Recursos de Hardware: hardware utilizado para la realización del proyecto.
- Recursos de Software: software necesario para realizar la programación del proyecto.
- Recursos humanos: mano de obra necesaria para montaje de equipos, programación y puesta en marcha del proyecto.

1.1. Recursos de Hardware

Los recursos de hardware utilizados para la implementación del proyecto que se realiza son:

- 1 tarjeta analógica con conector frontal.
- Materiales normativa ATEX (cableado y conectores).

A continuación, en la **Tabla 1** se desglosarán de forma detallada los precios de los recursos nombrados anteriormente.

Tabla 1. Presupuesto de los recursos de Hardware.

Concepto	Cantidad (uds)	Precio/Unidad (€/Ud)	Precio total (€)
Tarjeta analógica con conector frontal.	1	697,00	697,00
Materiales normativa ATEX (cableado y conectores)	1	1.024,00	1.024,00
Total			1721,00

1.2. Recursos de Software

Dado que para este proyecto ya se contaba con la licencia del programa Siemens S7-300, no ha sido necesario dedicar una partida de presupuesto en recursos de Software.

1.3. Recursos humanos

Los recursos humanos provienen de las horas de trabajo del encargado de realizar el proyecto, el cual posee un salario pactado por los sindicatos. Para la realización de dicho proyecto se necesitará la intervención de un ingeniero técnico y un técnico de montaje, los que tienen un salario a la hora de 35,00€ y 15,00€ respectivamente.

Para realizar un estudio correcto de los trabajos realizados por cada uno de ellos, se dividirá al ingeniero del técnico y se centrará en las tareas concretas de cada uno y las horas que tardan en realizarlas.

En las **Tablas 2 y 3** se detallan las horas y los trabajos realizados por el ingeniero técnico y del técnico de montaje respectivamente.

Tabla 2. Presupuesto de las tareas del ingeniero técnico.

Tareas	Horas (h)	Coste/Hora (€/h)	Coste total (€)
Ingeniería Eléctrica (identificación y documentación)	10	35,00	350,00
Programación, configuración hardware, escalado, etc.	30	35,00	1050,00
Testeo de señales, pruebas y puesta en marcha	20	35,00	700,00
Total			2100,00

Tabla 3. Presupuesto de las tareas del técnico de montaje.

Tareas	Horas (h)	Coste/Hora (€/h)	Coste total (€)
Instalación	20	15,00	300,00
Comprobación	10	15,00	150,00
Total			450,00

En la **Tabla 4** se indica el coste total de las tareas realizadas por el ingeniero técnico y el técnico de montaje.

Tabla 4. Presupuesto total de las tareas realizadas por recursos humanos.

Personal	Horas (h)	Coste/Hora (€/h)	Coste total (€)
Ingeniero técnico	60	35,00	2100,00
Técnico de montaje	30	15,00	450,00
Total			2550,00

1.4. Coste total del proyecto

Tras un estudio detallado de todos los aspectos que se han visto en los apartados anteriores, se resume y determina el coste total de dicho proyecto que se ve reflejado en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Presupuesto total del proyecto.

Concepto	Coste total (€)
Hardware	1721,00
6% Beneficio Industrial en relación al Hardware	103,26
Mano de obra	2550,00
Total	4374,26