



TRABAJO FINAL DE CARRERA

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA “DMAIC” EN LA
RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE CALIDAD.**

Xavier Pellegrero Ponsa

Ingeniería Organización Industrial (2º cicle)

Tutora: Mercè Molist

Vic, Junio del 2015

UVIC Universitat de Vic
**Escola Politècnica
Superior**

RESUMEN

Ingeniería Organización Industrial (2º cicle)

Titulo: Aplicacion de la Metodología “DMAIC” en la resolución de problemas de calidad.

Palabras clave: Six Sigma, Lean Six Sigma, 6 Sigma, Six Sigma Black Belt.

Autor: Xavier Pellegero Ponsa

Tutora: Mercè Molist

Fecha: Junio, 2015

Resumen

Desde el punto de vista de “negocio”, la metodología Seis Sigma, podría ser definida como una estrategia innovadora para generar una mejora significativa de la satisfacción del Cliente mediante la reducción de la variabilidad de los procesos a todos los niveles de negocio; desde el punto de vista “técnico”, se podría decir que la metodología Seis Sigma significa obtener un límite máximo de 3,4 defectos por millón de oportunidades.

En resumen, podríamos concluir en palabras de Ronald D. Snee: “Seis Sigma significa mejorar procesos mediante la resolución de problemas”.

El objetivo de este proyecto es la aplicación de la metodología Seis Sigma en la resolución del problema del desprendimiento de la pintura cataforésica, durante en el proceso de grapado del amplificador del sistema de frenado; la metodología de trabajo podría ser esquematizar en las siguientes etapas:

- Etapa “Definir”: Se define el problema, su estado inicial y los objetivos de mejora.
- Etapa “Medir”: Se describe el proceso a mejorar así como la evaluación de los sistemas de medición.
- Etapa “Analizar”: Se determinan las variables significativas del proceso, evaluando la estabilidad y capacidad del proceso.
- Etapa “Mejorar”: Se optimiza el proceso, validando su mejora.
- Etapa “Controlar”: Se controla el proceso mejorado a través de su seguimiento, analizando las nuevas oportunidades de mejora.

Las conclusiones más relevantes obtenidas en este proyecto fueron:

Un problema que inicialmente parecía tener su origen en la ocurrencia y detección, se ha demostrado que la causa origen era una deficiente aplicación del sistema de calidad.

La utilidad del control estadístico de procesos como herramienta predictiva de la calidad.

Que una mejora no siempre debe estar seguida de una inversión económica; las palabras de Taiichi Ohno: “*Utilice su cabeza y no su dinero*”, recogen el verdadero espíritu de la mejora continua.

La necesidad de llevar a cabo un programa de lecciones aprendidas y la transversalización de las acciones de mejora.

SUMMARY

Industrial Engineering (2nd cycle)

Title: Implementation “DMAIC” methodology to solve quality problems.

Keywords: Six Sigma, Lean Six Sigma, 6 Sigma, Six Sigma Black Belt.

Author: Xavier Pellegero Ponsa

Advisor: Mercè Molist

Date: Juny, 2015

Summary

From “business” point of view, Six Sigma methodology could be defined as an innovative approach to create a significant improvement in customer satisfaction through the reduction of process variability at all the levels of business; from a “technical” view could say that Six Sigma means obtaining 3.4 defective parts per million of defects within one million of opportunities. In summary, we could conclude in words of Ronald D. Snee: “Six Sigma means improving processes by solving problems”.

The purpose of project is to use the Six Sigma method to solve the peeling problem concerning cataphoresis paint caused during the knurling process of booster brake; this method is carried out through following phases:

- “Define” phase: The problem is defined, its initial status and and improvement targets.
- “Measure” phase: The process to improve is described and its measurement and control systems are evaluated.
- “Analyze” phase: The critical process characteristics are indentified; the stability and capacity of process is assessed.
- “Improve” phase: The process is improved and its improvement validated.
- “Control” phase: The improved process is controled and its monitoring is analyzed in order to obtain new opportunities for improvement.

The most relevant conclusions obtained in this project were:

An initial problem which seemed to be caused by occurrence and detection problems, it has been proved that the root cause was caused by deficient Quality System.

The usefulness of statistical process control as predictive quality tool.

To perform an improvement is not always necessary to make an economic investment; the Taiichi Ohno’s words: “Use your head, not your money”, declare the real spirit of continuous improvement.

The need to carry out a lessons learned program and transversalization of improvement actions.

Índice general:	pág.
1 INTRODUCCION	13
1.1 Los programas de mejora.....	13
1.1.1 Evolución de la calidad.....	13
1.1.2 Antecedentes de los programas de mejora.....	14
1.1.3 Aspectos comunes en los programas de mejora.....	15
1.1.4 El ciclo de mejora: Ciclo Deming.....	15
1.2 La metodología Seis Sigma.....	16
1.2.1 Historia de los programas Seis Sigma.....	16
1.2.2 Definición del concepto Seis Sigma.....	17
1.2.3 Desarrollo de la metodología Seis Sigma.....	18
1.2.4 Estructura organizativa de los programas Seis Sigma.....	19
1.2.5 Diferenciaciones entre Gestión de la Calidad Total y Seis Sigma.....	19
2 OBJETIVO DEL PROYECTO.....	22
3 DESARROLLO DEL PROYECTO.....	23
3.1 Etapa: DEFINIR_D.....	23
3.1.1 Descripción del problema_D1.....	23
3.1.1.1 El amplificador de frenada.....	23
3.1.1.2 Cambio del tipo de grapado.....	24
3.1.1.3 Proceso de rulinado.....	25
3.1.1.4 El problema del desprendimiento de la pintura.....	27
3.1.1.5 Objetivos del proyecto_D1.....	29
3.1.1.5.1 Incremento de la adherencia de la pintura.....	29
3.1.1.5.2 Reducción del rechazo durante el proceso de rulinado.....	30
3.1.1.5.3 Nivel de reclamaciones.....	30
3.1.1.5.4 Mejora económica esperada.....	31
3.1.2 Mapa de proceso alto nivel: SIPOC_D2.....	32
3.1.3 Características críticas de cliente_D3.....	34
3.1.4 Valoración económica_D4.....	35
3.1.5 Formalización del proyecto_D5.....	35
3.1.5.1 Formalización del proyecto 6σ: “Project Charter”.....	36

3.1.5.2 Planificación del proyecto 6σ: Diagrama de Gantt.	36
3.2 Etapa: Medir_M.	37
3.2.1 Diagrama de proceso_M1.	37
3.2.2 Planteamiento de preguntas_M1.	38
3.2.3 Revisión datos existentes_M2.....	38
3.2.3.1 Valor actual de elasticidad de la pintura.....	39
3.2.3.2 Numero de defectos debidos a problemas de pintura.	39
3.2.3.3 Número de reclamaciones debidas a problemas de pintura.	40
3.2.3.4 Valor del indicador de calidad PLKz debido a problemas de pintura.....	41
3.2.3.5 Cuestiones pendientes de responder.	41
3.2.4 Validación del sistema de medicion_M2	42
3.2.4.1 Método de medida.....	43
3.2.4.2 Elaboración de las muestras.	43
3.2.4.3 Identificación de las muestras.....	44
3.2.4.4 Resultados obtenidos.....	45
3.2.4.4.1 Resultados prueba en proveedor.....	45
3.2.4.4.2 Resultados prueba en cliente.....	47
3.2.4.4.3 Conclusiones análisis R&R.	49
3.2.5 Recogida de nuevos datos_M3.	50
3.2.5.1 Influencia de la temperatura estacional sobre el rechazo.....	50
3.2.5.2 Influencia de la posición de la pieza en el bastidor en el proceso de pintura.	51
3.2.5.3 Variabilidad del espesor de pintura en la pieza.	51
3.2.5.4 Relación entre el espesor de capa de pintura y el nivel de grapado obtenido.....	52
3.2.5.5 Influencia del material base sobre la capa de pintura obtenida.....	52
3.2.5.6 Influencia del voltaje sobre la capa de pintura obtenida.....	52
3.2.6 Responder preguntas planteadas. Analizar datos_M4.	53
3.2.6.1 Valor actual de elasticidad de la pintura.....	53
3.2.6.2 Nivel actual de rechazo por pintura.	54
3.2.6.3 Influencia de la temperatura estacional sobre el rechazo.....	55
3.2.6.4 Relación entre el posicionado de la pieza en el bastidor y espesor obtenido.	56
3.2.6.5 Variabilidad de espesor de pintura en la pieza.	56
3.2.6.6 Relación entre el espesor de capa y nivel de grapado obtenido.	57

3.2.6.7	Influencia del material base sobre la capa de pintura obtenida.....	57
3.2.6.8	Influencia del voltaje sobre el espesor de capa de pintura.	59
3.2.7	Cuantificación de la situación de partida_M5.....	60
3.3	Etapa: ANALIZAR_A	61
3.3.1	Reenfocar y concretar el proyecto_A1.....	61
3.3.2	Revisar el “Project Charter”_A1.	62
3.3.3	Generación de hipótesis_A2.	62
3.3.3.1	Influencia del desengrase en la adherencia de la pintura.....	64
3.3.3.2	Influencia de la concentración de afinador en el aumento de capa de fosfato.	65
3.3.3.3	Influencia de la concentración de fosfato en las características mecánicas.....	66
3.3.3.4	Influencia del espesor de capa y la resistencia mecánica.	67
3.3.4	Verificación de hipótesis.	69
3.3.4.1	Análisis de proceso de desengrase P_20/ P_30.	69
3.3.4.2	Análisis de proceso de afinado P_40.....	70
3.3.4.3	Análisis de proceso de fosfatado P_60.	71
3.3.4.4	Análisis de proceso de pintura P_90.	72
3.4	Etapa: MEJORAR_I.....	74
3.4.1	Propuesta de mejoras_I1.	74
3.4.2	Selección de propuestas de mejora_I2.	74
3.4.3	Evaluar riesgos_I3.	75
3.4.4	Prueba piloto_I3.....	75
3.4.4.1	Prueba piloto nuevo sistema de medicion_I3.....	75
3.4.4.2	Prueba piloto implantación SPC_I3.....	76
3.4.5	Implementacion_I4.	76
3.4.5.1	Método de medida_I4.....	76
3.4.5.2	Control SPC.....	76
3.5	Etapa: CONTROLAR_C.	77
3.5.1	Estandarizar_C1.....	77
3.5.2	Diseñar sistema de seguimiento_C2.	77
3.5.3	Valorar_C3.....	78
3.5.3.1	Valoración resultados no financieros.....	78
3.5.3.2	Valoración resultados financieros.....	79

3.5.4 Cerrar_C4.	79
4 CONCLUSIONES.	80
5 BIBLIOGRAFIA.	83
6 ANEXOS.	85

Índice diagramas. pág.

<i>Diagrama 3.1: SIPOC proyecto 6σ</i>	33
<i>Diagrama 3.2: Planificación del proyecto 6σ.</i>	36
<i>Diagrama 3.3: Sinóptico proceso de pintura.</i>	37
<i>Diagrama 3.4: Diagrama Causa/ Efecto.</i>	63
<i>Diagrama 3.5: Fases desengrase.</i>	64
<i>Diagrama 3.6: Fase afinado.</i>	65
<i>Diagrama 3.7: Fase fosfatado.</i>	66
<i>Diagrama 3.8: Fase pintura.</i>	67
<i>Diagrama 3.9: Fase control electrico.</i>	68

Índice figuras. pág.

<i>Figura 3.1: Circuito de frenado</i>	23
<i>Figura 3.2: Amplificación esfuerzo de frenada.</i>	23
<i>Figura 3.3: Amplificador de frenada.</i>	24
<i>Figura 3.4: Evolución tecnológica del amplificador.</i>	25
<i>Figura 3.5: Proces montaje del amplificador.</i>	25
<i>Figura 3.6: Proceso rulinado.</i>	26
<i>Figura 3.7: Movimiento rulinas.</i>	26
<i>Figura 3.8: Prueba estructural rulinado.</i>	26
<i>Figura 3.9: Cierre rulinado.</i>	26

<i>Figura 3.10: Zona desprendimiento de pintura.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3.11: Documentación requerimientos producto.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3.12: "Project Charter".....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 3.13: Codificación muestras de ensayo.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3.14: Muestras material base.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 3.15: Documentacion proceso.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 3.16: "Project Charter".....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 3.17: Documentacion proceso.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 3.18: Documentación proceso.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 3.19: Documentación proceso.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 3.20: Documentacion proceso.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 3.21: Documentación proceso.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 3.22: Instruccion sistema medicion.....</i>	<i>76</i>
Índice fotografías.	pág.
<i>Fotografía 3.1: Sistemas cierre amplificador.....</i>	<i>25</i>
<i>Fotografía 3.2: Oxidacion zona rulinado.....</i>	<i>27</i>
<i>Fotografía 3.3: Prueba resistencia ambiental.....</i>	<i>28</i>
<i>Fotografía 3.4: Escala valoracion de la elasticidad de la pintura.....</i>	<i>29</i>
<i>Fotografía 3.5: Escala valoracion pieza acabada.....</i>	<i>30</i>
<i>Fotografía 3.6: Ensayo elasticidad pintura segun 0204Y21900.....</i>	<i>43</i>
<i>Fotografía 3.7: Identificacion oculda de muestras.....</i>	<i>44</i>
<i>Fotografía 3.8: Bastidores pintura.....</i>	<i>51</i>
<i>Fotografía 3.9: Puntos medida de espesor.....</i>	<i>51</i>
<i>Fotografía 3.10: Puntos medida espesor.....</i>	<i>53</i>

<i>Fotografia 3.11: Montaje pieza 1W/-7°C.....</i>	55
<i>Fotografia 3.12: Montaje pieza 1W/RT.....</i>	55
<i>Fotografia 3.13: Puntos medida espesor</i>	56
<i>Fotografia 3.14: Puntos medida espesor.</i>	57
<i>Fotografia 3.15: Estructura tipo agujas.</i>	58
<i>Fotografia 3.16: Estructura tipo adoquines.</i>	58
<i>Fotografia 3.17: Puntos medida espesor.</i>	59
<i>Fotografia 3.18: Sistema medicion prototipo.</i>	75
<i>Fotografia 3.19: Sistema medicion final.....</i>	76
Índice gráfico.	pág.
<i>Grafico 3.1: Caracteristica amplificador.</i>	24
<i>Grafico 3.2: Evolucion costes de calidad.</i>	31
<i>Grafico 3.3: Nivel de grapado obtenido.</i>	39
<i>Grafico 3.4: Clasificación defectos pintura.....</i>	40
<i>Grafico 3.5: Clasificación reclamaciones estampación.</i>	40
<i>Grafico 3.6: Resultados evaluacion R&R proveedor.....</i>	45
<i>Grafico 3.7: Resultados variabilidad evaluadores proveedor.</i>	45
<i>Grafico 3.8: Componentes variabilidad R&R proveedor.....</i>	46
<i>Grafico 3.9: Resultados evaluación R&R cliente.....</i>	47
<i>Grafico 3.10: Resultados Variabilidad evaluadores cliente.</i>	47
<i>Grafico 3.11: Componentes variabilidad R&R cliente.</i>	48
<i>Grafico 3.12: Estudio capacidad grapado</i>	53
<i>Grafico 3.13: Evolución nivel de grapado.....</i>	54
<i>Grafico 3.14: Cantidad conjuntos rechazados.....</i>	54

<i>Grafico 3.15: Cantidad conjuntos montados.....</i>	54
<i>Grafico 3.16: Resultado adherencia pintura previo envejecimiento</i>	55
<i>Grafico 3.17: Resultado posicion bastidor/ espeosr pintura.</i>	56
<i>Grafico 3.18: Resultado espesor pintura pieza.....</i>	56
<i>Grafico 3.19: Resultados espesor extremo pieza.</i>	57
<i>Gràfica 3.20: Resultado relacion espesor/ tension.....</i>	59
<i>Grafico 3.21: SPC P_20 Alcalinidad Libre.</i>	69
<i>Grafico 3.22: SPC P_20 Ampliación Alcalinidad Libre.....</i>	69
<i>Grafico 3.23: SPC P_30 Alcalinidad Libre.</i>	70
<i>Grafico 3.24: SPC P_40 pH.....</i>	70
<i>Grafico 3.25: SPC P_60 Acidez Libre</i>	71
<i>Grafico 3.26: SPC P_60 Acidez Total.....</i>	71
<i>Grafico 3.27: SPC P_60 Catalizador.....</i>	72
<i>Grafico 3.28: SPC P_60 Zn**</i>	72
<i>Grafico 3.29: SPC P_90 Extracto Seco</i>	73
<i>Grafico 3.30: Evolucion defecto pintura.....</i>	78

Índice ilustraciones.	pág.
<i>Ilustración 3.1: Posición piezas bastidor.</i>	51
<i>Ilustración 3.2: Posición piezas bastidor.</i>	52
<i>Ilustración 3.3: Probetas ensayo.</i>	52
<i>Ilustración 3.4: Posicion piezas bastidor.</i>	53
<i>Ilustración 3.5: Posición piezas bastidor.</i>	56
<i>Ilustración 3.6: Posición piezas bastidor.</i>	57
<i>Ilustración 3.7: Posición piezas bastidor.</i>	59

Índice tablas.	pág.
<i>Tabla 3.1: Tabla resultados R&R proveedor.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 3.2: Tabla resultados R&R cliente.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 3.3: Resultados capa de fosfato.</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 3.4: Resultados mecanicos capa de pintura.</i>	<i>58</i>

1 INTRODUCCION

1.1 Los programas de mejora.

1.1.1 Evolución de la calidad.

Etimológicamente podemos definir la “calidad” como: *“Propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa, que permite apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su especie”*. En el sentido que aquí nos ocupa, entenderemos por calidad: *“La totalidad de funciones y características de un producto que determinan su capacidad para satisfacer las necesidades de sus usuarios”*.

El concepto de calidad como orientación hacia el cliente, aunque es bastante reciente, se ha asentado con firmeza en la cultura empresarial actual. A lo largo de la historia, el ser humano ha intentado producir bienes aptos para su uso, incrementando sus prestaciones y su fiabilidad. Sin embargo, esta idea se ha desarrollado en modos de producción diferentes. El artesano medieval, tenía un contacto directo con el usuario final del producto, pudiendo conocer fácilmente sus exigencias; con la llegada de la revolución industrial, el “taylorismo” impone la división del trabajo desapareciendo el contacto directo con el cliente final. Hasta mediados del siglo XX la calidad era vista como un problema que se solucionaba mediante herramientas de inspección; al final de proceso, las piezas eran examinadas y las que no cumplían los estándares eran rechazadas. En una segunda etapa, se aplicaron herramientas y técnica estadísticas que facilitaban la detección de productos defectuosos, desarrollándose métodos estadísticos para medir y mejorar la estabilidad de la producción, reduciendo el porcentaje de defectos y cumpliendo las especificaciones de los diseños. Sin embargo, el aseguramiento de la calidad, todavía permanecía vinculado al departamento de producción. Este planteamiento cambia al considerarse la calidad como un “factor estratégico”, ya no se trata de una actividad inspectora sino preventiva. La gestión estratégica de la calidad hace de ésta una fuente de ventajas competitivas, las cuales requieren del esfuerzo colectivo de todas las áreas y miembros de la organización.

Resumiendo, podemos afirmar que la calidad y la orientación al cliente, no siempre han ido de la mano. El concepto de calidad en su origen, significaba “calidad de producto”: rechazo de productos defectuosos mediante el aumento de controles e inspecciones y, en consecuencia el encarecimiento del producto. En una segunda etapa la calidad se centra en “calidad del proceso” mediante herramientas estadísticas. Posteriormente, el “aseguramiento de la calidad”, involucrando a la organización a todos los niveles. Finalmente, surge la gestión de la “calidad total”, situando la orientación al cliente en el centro de la estrategia empresarial.

1.1.2 Antecedentes de los programas de mejora.

La evolución histórica de la calidad siempre ha estado focalizada en la “mejora” de los procesos mediante una actividad sistemática y organizada encaminada a corregir las deficiencias de todo tipo inherentes a los procesos, productos y servicios, al no haber sido planificadas y tenidas en cuenta los procesos de desarrollo. También la mejora nos surge del entorno, como por ejemplo tenemos las nuevas demandas de los clientes, la adquisición e incorporación de nuevos conocimientos, así como la necesidad de reducción de costes.

Según la trilogía de Juran referente a la mejora, podemos diferenciar tres etapas:

- Planificación: Conjunto de actividades que se determinan y desarrollan antes del inicio de la fabricación o prestación del servicio, para asegurar el éxito de la misma.
- Control: Conjunto de actividades que aseguran que el nivel de calidad se mantiene dentro de los límites determinados.
- Mejora: Conjunto de actividades que busca salir de la zona habitual con objeto de obtener mayor oportunidades de mejora de la satisfacción del cliente, reducción de costes, procesos más eficientes, etc.

Entre los sistemas de mejora podemos destacar dos métodos extremos en función de su forma de evolucionar: la “reingeniería” como un sistema de mejora drástico, aplicación puntual, específica, chocante y económicamente costoso y, el “Kaizen¹” como un sistema de mejora incremental de aplicación continua, ámbito general, habitual y de costes moderados. El avance por mejora brusca es consecuencia de la innovación a nivel tecnológico, de inversiones en I+D+i, nuevos equipos, etc., constituyendo un avance en la mejora rápida y puntual. Por otro lado, el avance por mejora incremental constituye una mejora lenta pero constante del entorno que nos rodea, del ambiente del puesto de trabajo y, en definitiva la consecución de pequeñas mejoras en los procesos; es una evolución que no aporta grandes cambios, pero que resuelve constantemente pequeños problemas, consiguiendo hitos cada vez más altos. Taiichi Ohno, vicepresidente de Toyota y promotor del JIT, es conocido por una frase que recoge el verdadero espíritu de la mejora continua: *“Utilice su cabeza y no su dinero”*.

Entre el método más drástico y el continuo, se pueden encontrar multitud de situaciones intermedias y, la metodología Seis Sigma proporciona la organización y la metodología para llevar a cabo la consecución de este tipo de mejoras. Las organizaciones deben aplicar ambos saltos: los verticales mediante innovaciones y las tendencias crecientes mediante la mejora continua, constituida por pequeñas innovaciones realizadas de forma sistemática sin grandes inversiones. La falta de aplicación de estos sistemas de mejora puede conducir al riesgo de pérdida de competitividad.

¹ JP “Hacer pequeñas cosas es mejor”

1.1.3 Aspectos comunes en los programas de mejora.

Existen unos aspectos relevantes en la realización de los programas de mejora:

- Dirección involucrada: La dirección debe estar implicada a través de crear una organización para realizar proyectos de mejora, con responsabilidades claramente asignadas.
- Procesos vs. departamentos: Aunque todos departamentos tienen definidos responsables que se ocupan de la mejora de su gestión, las grandes oportunidades surgen teniendo una visión general de todo el proceso, ya que las relaciones entre los diversos departamentos de la organización son el origen de casi todos los problemas y en consecuencia, de las mayores oportunidades de mejora.
- Procesos vs. personas: La mayor parte de las oportunidades residen en mejorar (cambiar) los sistemas (procesos mal establecidos) y no las personas.
- Formación y aprendizaje: Aprender a mejorar, entendiendo que los procesos de mejora son un proceso de aprendizaje.
- Oportunidades concretas: Todas las oportunidades de mejora se centran trabajando sobre oportunidades concretas, ya que los eslóganes o buenas intenciones carecen de utilidad práctica.
- Método Científico: Seguir una metodología basada en el ciclo PDCA² aumenta la consecución de éxitos en la mejora continua y, minimiza la inversión.

1.1.4 El ciclo de mejora: Ciclo Deming.

El ciclo de Deming actúa como guía lógica y racional para llevar a cabo la mejora continua y lograr de una forma sistemática y estructurada la resolución de problemas. Esta constituida básicamente por cuatro actividades:

- Planificar: En esta fase cabe preguntarnos cuáles son los objetivos que se quieren alcanzar y la elección de los métodos adecuados para lograrlos. Conocer la situación de inicio mediante la recopilación de todos los datos e información necesaria es fundamental para establecer objetivos. La planificación debe incluir el estudio de causas y los correspondientes efectos para prevenir los fallos potenciales y los problemas de la situación sometida a estudio, aportando soluciones y medidas correctivas. En esta fase tendremos:
 - a) Definir el problema o seleccionar el proyecto.
 - b) Definir y describir el proceso.
- Realizar: Consiste en llevar a cabo el trabajo y las acciones correctivas planeadas en la fase anterior. Corresponde a esta fase la formación de las personas para que adquieran un adiestramiento en las actividades y actitudes que deben de llevar a cabo. Es importante

² Plan, Do, Check and Act.

comenzar el trabajo de manera experimental para formalizar la acción de mejora en la última etapa, una vez que se hay comprobado su eficacia. En esta fase tendremos:

- a) Evaluación de los sistemas de medición.
 - b) Determinar las variables significativas.
 - c) Evaluar la capacidad del proceso.
 - d) Optimizar y robustecer el proceso.
- Comprobar: Consiste en verificar y controlar los efectos y resultados que surjan de aplicar las mejoras planificadas. Se ha de comprobar si los objetivos marcados se han logrado o, de lo contrario realizar una nueva planificación para tratar de superarlos. En esta fase tendremos:
 - a) Validar la mejora.
 - Actuar: Una vez que se comprueba que las acciones emprendidas dan el resultado esperado, es necesario realizar su formalización documental adecuada. En esta fase destacaremos:
 - a) Controlar y dar seguimiento al proceso.
 - b) Mejorar continuamente.

1.2 La metodología Seis Sigma.

1.2.1 Historia de los programas Seis Sigma.

En 1984 Motorola se encontraba acuciada por la cada vez más fuerte competencia japonesa, lo cual hacía peligrar su continuidad en el sector de la electrónica. Frente a esta situación, y a partir de un trabajo elaborado por su directivo Mikel Harry, se puso en marcha un intenso programa de mejora basado en las prácticas de aquel momento, como por ejemplo la creación de equipos multidisciplinares. Aquel estudio ponía de relieve una clara relación entre la fiabilidad de un producto y el nivel de retrabajo o reproceso sufridos por el producto durante su proceso productivo, como resultados de los diferentes controles de calidad, en los que se manifestaba variabilidad de alguna característica de calidad más allá de los límites de tolerancia determinados. Por todo ello el equipo de mejora de Motorola, se orientó hacia la mejora de los procesos eliminando las causas que provocaban los defectos. A ello, se le añadieron objetivos como la reducción de la variabilidad de los procesos, lo cual implicó algunos cambios como enfatizar en las mediciones, así como en la aplicación de procesos estadísticos, que finalmente tomaría el nombre de Seis Sigma.

El programa de mejora fue un éxito, extendiéndose a otras organizaciones que a su vez lo adaptaron y modificaron.

En 1987 la empresa UNISYS la incorpora al análisis de sus procesos, definiendo la estructura de los roles basada en el karate, como hoy se conoce.

En el 1993 la empresa AlliedSignal efectúa una implantación a todos los niveles de sus empleados, reseñando que lo importante era el negocio, no la mejora *per se*, dando una orientación clara hacia los objetivos financieros.

En 1995 General Electric adopta esta metodología a través del liderazgo de su presidente Jack Welch, generando una aceptación internacional de la metodología Seis Sigma.

Paralelamente, en el sector de la automoción, cada vez mas se aplicaba la “metodología lean”, especialmente después del éxito obtenido por el divulgador J. Womack con sus libros “The machine that changed the Wold” y “Lean thinking”, basados en el sistema de producción utilizado por TOYOTA.

Finalmente, a partir del 2000, se inicia un movimiento de integración de las herramientas e ideas contenidas en la metodología dentro de los programas de mejora de Seis Sigma.

En la actualidad, la metodología Seis Sigma se aplica mundialmente en varios sectores, tanto productivos como de servicios y con diferente tamaños de negocio, por ejemplo: laCaixa, Telefónica, HITACHI, Delta, TRW, BOSCH, Zúrich, Prosegur, Vodafone, BBVA, RACC, etc.

1.2.2 Definición del concepto Seis Sigma.

Debemos diferenciar el significado de 6σ según nos estemos refiriendo a los programas de mejora o a la medida del nivel de calidad de un proceso.

Desde el punto de vista de los programas de mejora, y cuya aplicación veremos en este proyecto, podemos definir 6σ como una filosofía de aplicación metodológica cuyo objetivo es la eliminación de desperdicios, como el re trabajo, mejorando el nivel de calidad, los costes y tiempo de los procesos.

Desde el punto de vista de capacidad, 6σ es una medida que relaciona la variabilidad del proceso con los límites de especificación, pudiéndolo definir como: *“Un proceso 6σ significa que es capaz de producir con un máximo de defectos de 3,4 ppm”*.

Con objeto dar una definición lo mas concisa posible pódenos decir: *“Seis Sigma es un sistema empresarial para lograr y mantener el éxito por medio de la orientación de la orientación al cliente, la gestión pro procesos y la mejora de procesos, así como la utilización analítica de los hechos y de de los datos”*.

1.2.3 Desarrollo de la metodología Seis Sigma.

En los proyectos Seis Sigma se hace uso de un ciclo de mejora denominado DMAIC³ que comprende las siguientes fases:

- **Definir.**
Definir el problema o seleccionar el proyecto, describiendo el efecto provocado por una situación adversa, o el proyecto de mejora que se desea realizar, con la finalidad de poder entender la situación de partida y definir los objetivos. En esta fase se configura el equipo de trabajo, el cual deberá ser de tipo multidisciplinar.
- **Medir.**
Definir y describir el proceso, determinando sus elementos, sus fases, entradas, salidas y características.
Evaluar los sistemas de medición, analizando su capacidad y estabilidad mediante estudios de repetibilidad, reproductibilidad, linealidad, exactitud y estabilidad.
- **Analizar.**
Determinar las variables significativas. Las variables del proceso definidas en la fase "Medir", deben ser confirmadas por medio de Diseño de Experimentos y/o estudios multivari, para medir la contribución de estos factores en la variabilidad del proceso. Las pruebas de hipótesis e intervalos de confianza también serán aplicados en esta fase.
Evaluar la estabilidad y la capacidad del proceso. Determinar la habilidad de proceso para producir productos dentro de las especificaciones, mediante estudios de capacidad a corto y largo plazo, a la vez que se evalúan las fracciones defectuosas.
- **Mejorar.**
Optimizar y robustecer el proceso. Si el proceso no es capaz, se tendrá que optimizar para reducir su variación. En esta fase se utilizarán herramientas de calidad como son el diseño de experimentos, análisis de regresión y las superficies de respuesta.
Validar la mejora. Realizar estudios de capacidad confirmatorios.
- **Controlar.**
Controlar y efectuar un seguimiento del proceso, manteniéndolo bajo control estadístico.
Mejorar continuamente. Una vez que el proceso es capaz, se deberán buscar mejores condiciones de operación, materiales, procedimientos, etc., que nos conduzcan a un mejor desempeño del proceso.

³ Define, Measure, Analyse, Improve and Control.

1.2.4 Estructura organizativa de los programas Seis Sigma.

La estructura organizativa de los programas 6 σ esta estandarizada, estando definidos claramente el roll de cada uno de sus actores. Su analogía con el karate, fue introducida por UNISYS en 1987.

El “Champion” es un miembro del equipo directivo cuya misión es impulsar el programa 6 σ en la organización apoyando los proyectos; contribuye al trabajo del “Master Black Belt” para identificar y validar los potenciales proyectos de mejora 6 σ , y es el responsable de la ejecución.

El “Master Black Belt” es el director de los programas de mejora 6 σ , apoyado al Black Belt sobre aplicación de herramientas y metodología del proceso de mejora. Son los evaluadores y formadores del proceso 6 σ , así como el “coaching” de los Black Belt. También son los responsables de identificar y preparar la planificación de proyectos facilitando y conduciendo los trabajos de los Black Belt y Green Belt.

El “Black Belt” identifica las oportunidades de mejora, liderando los proyectos y equipos. Son el recurso a tiempo completo que la organización debe proporcionar al proyecto 6 σ . Ayudan a las personas de la organización a materializar las oportunidades de mejora que se hayan detectado, ayudando a la reducción de defectos y problemas que se abordan mediante los proyectos 6 σ .

El “Green Belt” son componentes de los equipos de mejora que dan soporte al Black Belt, proporcionando los valores de campo, así como una visión muy clara del proceso. Además, realizan actividades claves en las fases preliminares del proyecto para la exploración y tratamiento inicial de datos, participando activamente en las actividades de la fase de control.

Los “Yellow Belt” son integrantes del grupo de proyecto 6 σ , aportando su conocimiento de la organización y de procesos a nivel multidisciplinar. Ellos ayudan a los Back Belt a completar los proyectos y a mantener sus logros. Realizan también actividades claves en las fases preliminares del proyecto para la exploración y tratamiento inicial de datos y participan activamente en las actividades de la fase de control, con el desarrollo de métodos.

1.2.5 Diferenciaciones entre Gestión de la Calidad Total y Seis Sigma.

La Gestión de la Calidad Total (TQM⁴) ha dejado tras de sí un legado muy positivo, el cual todavía se mantiene en muchas organizaciones; podemos afirmar, que el TQM ha sido el propulsor de la filosofía Seis Sigma (6 σ), así que algunos de los errores surgidos en la aplicación de los programas de TQM, se podrían repetir en los proyectos Seis Sigma si no los tenemos en cuenta.

Falta de Integración (TQM): La calidad solía ser una actividad separada de los asuntos principales de la estrategia de la compañía; contaba con un “Comité de Calidad” formado por delegados en lugar de directivos, o personal del departamento de calidad sin ningún vinculo con objetivo de pérdidas y ganancias de la empresa. Otra deficiencia de la integración surgía cuando los mandos intermedios quedaban fuera del proceso de decisión y la autoridad para resolver los problemas se

⁴ Total Quality Management.

entregaba a equipos sobre los que no existía control oficial alguno. Además, a pesar de hablar de Calidad Total, el trabajo se limitaba a las funciones de fabricación.

Vínculos con el negocio y el personal de base (6σ): La organización ha puesto en acción la gestión, la mejora y la medida de los procesos, como parte de las responsabilidades de los directivos.

Apatía del liderazgo (TQM): En la implantación de TQM, los líderes de la compañía se comprometían activamente en la dirección del proceso, sin embargo su escepticismo y poca implicación hizo que los resultados no fueran los esperados. En estas organizaciones, el TQM fue un hecho temporal, desapareciendo simultáneamente con los líderes que las iniciaron.

Liderazgo en vanguardia (6σ): Actualmente, resulta incuestionable la aceptación de la metódica de 6σ por la alta dirección de empresas como AlliedSignal y GE. De hecho, se entiende que una empresa está preparada para realizar proyectos 6σ, cuando su alta dirección ha decidido que el cambio es esencial para la obtención de un éxito continuado que perdure su supervivencia.

Concepto difuso (TQM): La confusión de TQM, se inicio con la palabra “calidad” en sí misma, ya que es un término familiar con muchas sombras en su significado. En muchas empresas se vinculaba calidad con un departamento del mismo nombre, con responsabilidades específicas para el control y el aseguramiento de la calidad, cuya misión tendía a centrarse mas en estabilizar que en mejorar los procesos. La idea global de la calidad hizo también que muchas personas vieran el TQM como un proceso misterioso. La vaguedad del TQM se fue agravando, a medida que surgieron los estándares de certificación como la ISO9000.

Mensaje simple y consistente (6σ): En este aspecto, 6σ puede tener el mismo riesgo que la TQM, las palabras Seis Sigma no describen perfectamente lo que esta metodología representa.

Objetivo poco claro (TQM): El objetivo de calidad era confuso y se dirigía a cumplir y sobrepasar los requerimientos de cliente, sin establecer un método de seguimiento del progreso del proyecto hacia la meta.

Objetivo ambicioso, pero realista (6σ): Los proyectos definen un objetivo claro y retador, pero viable, a diferencia de los objetivos pasados como los “cero defectos”; se define un objetivo de rendimiento de 3.4 defectos por millón u objetivos de mejora con valoración económica.

Actitudes puristas y fanatismo técnico (TQM): Se insistía en hacer las cosas de una forma única y definida, de forma que cualquier alejamiento se entendía como una traición a las directrices marcadas por los gurús de la calidad. Se aplicaban herramientas para analizar problemas aunque no fueran necesarias, y mucho peor, se apartaba a la gente que intentaba participar en los proyectos por el simple hecho de no ser expertos; tales técnicas debían aplicarse incluso cuando no fueran absolutamente necesarias.

Adaptación de herramientas y grado de rigor a las circunstancias (6σ): Se integra la diversidad de habilidades con la metodología técnica, utilizando herramientas y método que den resultados con la mayor simplicidad. Se permite la utilización de métodos consistentes y técnicas avanzadas para medir y mejorar los procesos, venciendo de esta forma el riesgo del puritanismo.

Fracaso en hacer caer las barreras internas (TQM): En la mayoría de los casos, las actividades de TQM solían ser departamentalizadas; los proyectos que implicaban a toda la organización solían terminar diluyéndose. Los proyectos TQM se hicieron más interfuncionales en los casos que surgían pequeños conflictos entre departamentos, pero no se tenían en cuenta las cuestiones que eran críticas para los clientes.

Prioridad a la gestión por procesos interfuncionales (6σ): La eliminación de las barreras interdepartamentales, es una de las prioridades de los proyectos 6σ, el resultado es la obtención de una empresa más eficaz, más eficiente y que funciona con mayor facilidad. Además, se elimina la duplicidad de funciones creadas por desconexiones y deficiente comunicación, por ello, es tan importante en los proyectos 6σ la gestión por procesos como los métodos de medición y mejora.

El cambio incremental frente al cambio exponencial (TQM): El TQM pone énfasis en la necesidad de introducir pequeñas mejoras evitando los cambios radicales, sin realizar una exclusión explícita. En problema surgió al rededor de la aplicación de la reingeniería; los puristas del TQM la tachaban de aplicación radical, mientras los partidarios de la reingeniería veían los progresos de los proyectos TQM como avances con poco valor.

Cambio incremental y exponencial (6σ): La filosofía Seis Sigma reconoce que tanto las pequeñas mejoras como de las grandes, son parte esencial en la supervivencia de las empresas.

Formación ineficaz (TQM): En realidad no existe un método perfecto para formar a una empresa en el ámbito de TQM, ni en 6σ. No sería muy correcto decir que las formaciones de TQM fueron ineficaces; el problema fue que se centraron más en el conocimiento de las herramientas que como buscar un contexto de donde estas dieran sus beneficios, incluso se llegó a creer que el éxito del proyecto venía determinado por el número de personas formadas.

Formación estructurada: Black Belt, Green Belt y Master Black Belt (6σ): Se definen unos estándares de formación muy estrictos.

Enfoque a la calidad del producto (TQM): A pesar del término “total”, muchos esfuerzos de TQM se centraron exclusivamente en los procesos de fabricación, olvidándose de otras áreas críticas.

Atención a todos los procesos de la empresa (6σ): Los proyectos 6σ no solamente ofrecen oportunidades de mejora en áreas de fabricación, sino que son verdaderamente útiles en servicios y procesos transaccionales.

2 OBJETIVO DEL PROYECTO.

El objetivo del estudio es la aplicación de la metodología 6σ a un proceso de mejora industrial; partiremos de la definición de un problema de calidad: ***“Desprendimiento de la pintura durante el proceso de rulinado”***, el cual se quiere mejorar hasta unos niveles, previamente definidos.

El proyecto se desarrollara a través de las cinco etapas definidas en la metodología DMAIC⁵:

Etapla Definir.

- Se definirá el problema, la situación de partida, así como los niveles de mejora esperamos.

Etapla Medir.

- Se describirá el proceso a mejorar determinando sus elementos: fases, entradas, salidas y características.
- Se evaluara los sistemas de medición analizando su capacidad y estabilidad mediante estudios de repetitividad, reproductibilidad, linealidad, exactitud y estabilidad.

Etapla Analizar.

- Se determinaran las variables significativas del proceso definidas en la fase “Medir”, realizando su confirmación mediante de Diseño de Experimentos y/o estudios multivari, para poder evaluar la contribución de estos factores en la variabilidad del proceso. Las pruebas de hipótesis e intervalos de confianza también serán tenidos en cuenta en esta fase.
- Se evaluaran mediante estudios de capacidad a corto y largo plazo, las fracciones defectuosas, la estabilidad y la capacidad del proceso, analizando su factibilidad para producir productos dentro de las especificaciones.

Etapla Mejorar.

- Se optimizara el proceso mejorando su robustecer; en el supuesto de que el proceso no sea capaz, se tendrá que optimizar para reducir su variabilidad. En esta fase, dispondremos de herramientas de calidad tales como Diseño de Experimentos, Análisis de Regresión y las Superficies de Respuesta.
- Se validaran las mejoras introducidas en el proceso mejorado, mediante estudios de capacidad confirmatorios.

Etapla Controlar.

- Se realizara el control y seguimiento del proceso mejorado, con objeto de mantenerlo bajo control estadístico.
- Se cerrara el ciclo de mejora continua con la búsqueda y propuesta de mejoras que nos conduzcan a un mejor desempeño del proceso.

⁵ Define, Measure, Analyse, Improve and Control.

3 DESARROLLO DEL PROYECTO.

3.1 Etapa: DEFINIR_D.

3.1.1 Descripción del problema_D1.

3.1.1.1 El amplificador de frenada.

En los sistemas de frenado para vehículos podemos distinguir dos partes claramente diferenciadas: el sistema hidráulico y el sistema de actuación (*Figura 3.1*).

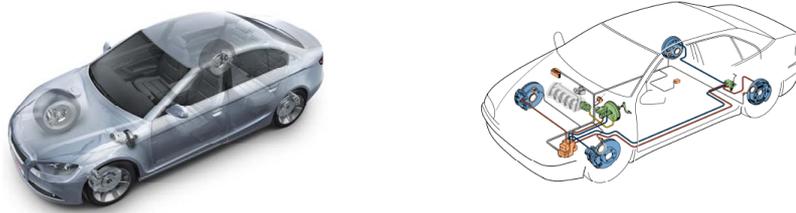


Figura 3.1: Circuito de frenado

El sistema hidráulico efectúa la transmisión de presión desde la bomba de freno hasta los actuadores, por ejemplo pinzas y tambores de freno. La actuación es la encargada de transmitir a la bomba de freno, el esfuerzo amplificado que el conductor realiza sobre el pedal (*Figura 3.2*).

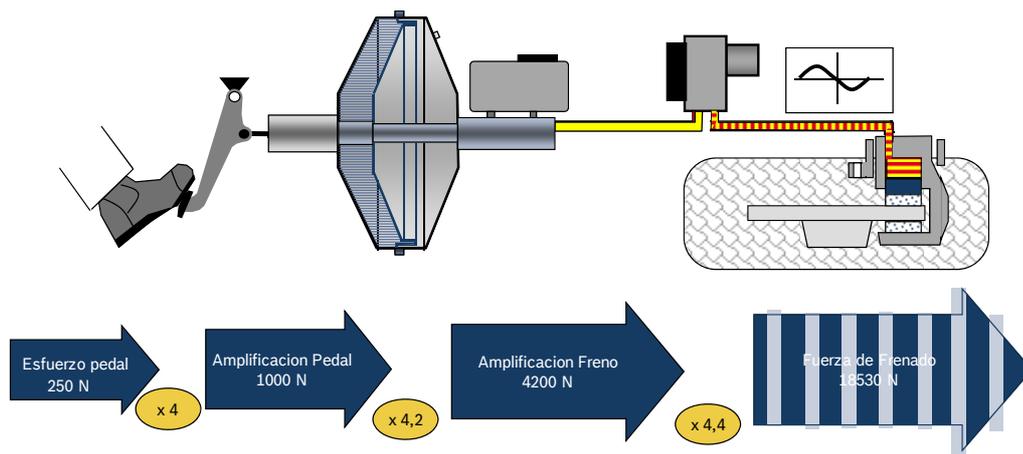


Figura 3.2: Amplificación esfuerzo de frenada.

Nuestro estudio se centrara en el elemento del circuito denominado amplificador de frenada (*Figura 3.3*), cuya función es amplificar el esfuerzo realizado por el conductor. Para realizar dicha

amplificación de esfuerzo, el amplificador dispone de dos cámaras: una cámara posterior expuesta a la entrada de presión atmosférica y una cámara anterior sometida a una presión negativa; como resultado de la presión diferencial generada entre ambas cámaras, se obtiene una característica de prestación fuerza entrada vs. fuerza salida del sistema de amplificación (*Grafico 3.1*).

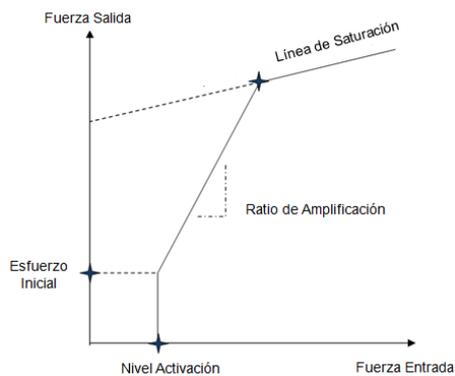


Grafico 3.1: Característica amplificador.

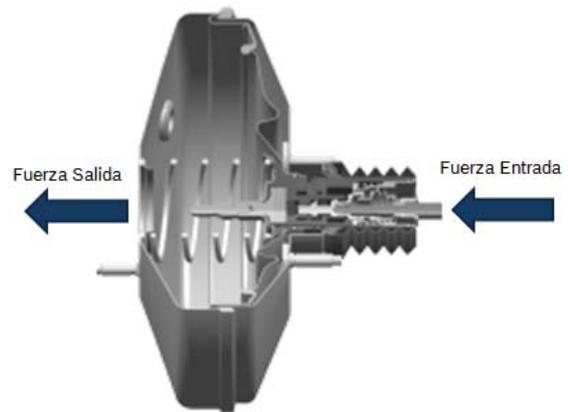


Figura 3.3: Amplificador de frenada.

Entre los componentes del amplificador de frenada, tenemos la cámara anterior, que confinara el nivel de vacío generado en el sistema y la cámara posterior, donde se regulara la cantidad de presión atmosférica recibida durante la actuación.

Estos dos elementos, cámara anterior y tapa posterior, además de ser utilizados como depósitos de los niveles de presión, su unión también es utilizada para albergar y fijar la junta diafragma del amplificador, realizando sus funciones de estanqueidad del amplificador con el exterior.

La aplicación de los amplificadores en los sistemas de frenado, data de los años sesenta; desde su configuración inicial, la unión de la cámara anterior y la tapa posterior se realizaba mediante un cierre de tipo grapado.

3.1.1.2 Cambio del tipo de grapado.

Además de las innovaciones tecnológicas aplicadas a los nuevos diseños de amplificador de frenada, la crisis energética mundial ha forzado a la reducción del peso de los componentes utilizados en el sector de la automoción (*Figura 3.4*).



Figura 3.4: Evolución tecnológica del amplificador.

Este requerimiento ha obligado a fabricar la cámara anterior y tapa posterior con espesores más reducidos, siendo necesario un rediseño del sistema de cierre entre ambos elementos, surgiendo el cierre por rulinado (Fotografía 3.1).



Fotografía 3.1: Sistemas cierre amplificador.

3.1.1.3 Proceso de rulinado.

El montaje del amplificador (Figura 3.5) de frenada, es realizado mediante un proceso productivo de flujo continuo. La línea de montaje, dispone de una estación donde se realiza el rulinado; inicialmente se efectúa el posicionamiento de todos los componentes, con objeto de obtener un alineamiento de los mismos durante el proceso de rulinado.

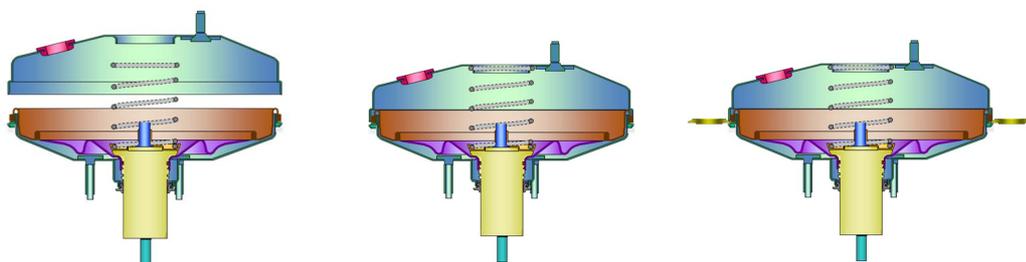


Figura 3.5: Proceso montaje del amplificador.

Una vez posicionada la cámara anterior, tapa posterior y junta de estanqueidad, se realiza el cierre mediante 6 rulinas dotadas de movimiento rotativo perimetral y avance radial progresivo (Figura 3.7). Finalizada la operación de rulinado, se realiza un control funcional 100% de los conjuntos montados en relación a su estanqueidad (Figura 3.6).

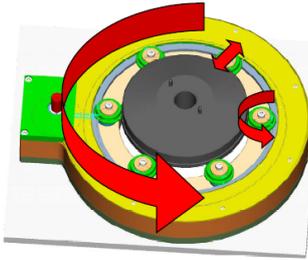


Figura 3.7: Movimiento rulinas.

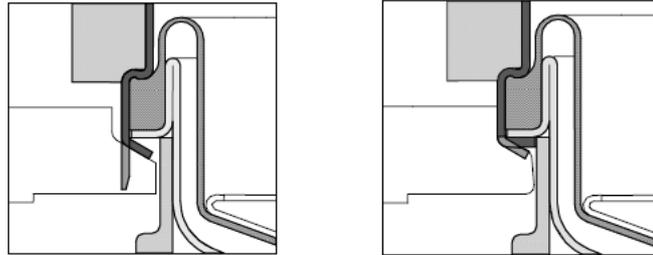


Figura 3.6: Proceso rulinado.

En referencia a la correcta realización del cierre, se efectúa un Control Estadístico (SPC⁶) de los parámetros críticos de cierre: LOD, J y K (Figura 3.9). Adicionalmente, y a intervalos productivos determinados en el Plan de Control, se realizan ensayos destructivos estructurales del cierre obtenido, para verificar si cumple los niveles mínimos requeridos (Figura 3.8).

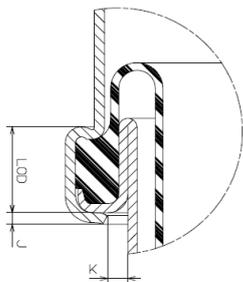


Figura 3.9: Cierre rulinado.

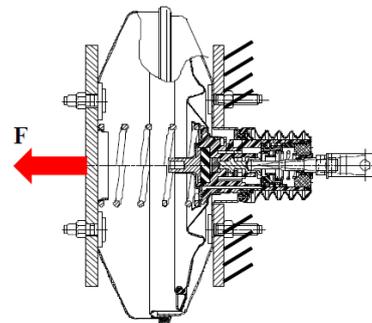


Figura 3.8: Prueba estructural rulinado.

Finalmente, en la estación de descarga, se realiza un control visual 100% del área de cierre obtenida, con el objeto de detectar posibles desprendimientos de pintura producidos durante proceso de rulinado.

⁶ SPC: Statistical Process Control.

3.1.1.4 El problema del desprendimiento de la pintura.

Actualmente, los vehículos están equipados con sistemas cuyo nivel de requerimiento está relacionada directamente con la seguridad, por ejemplo: ruedas, dirección del vehículo, amortiguadores, etc.; y por supuesto, el sistema de frenado. Obviamente, en estos sistemas no se puede admitir error alguno.

En principio, el desprendimiento de una pequeña franja de pintura alrededor del cierre del conjunto debería ser un problema de estética, sin consecuencias relevantes, en lugar de un grave problema en la funcionalidad del amplificador de frenada (*Figura 3.10*).

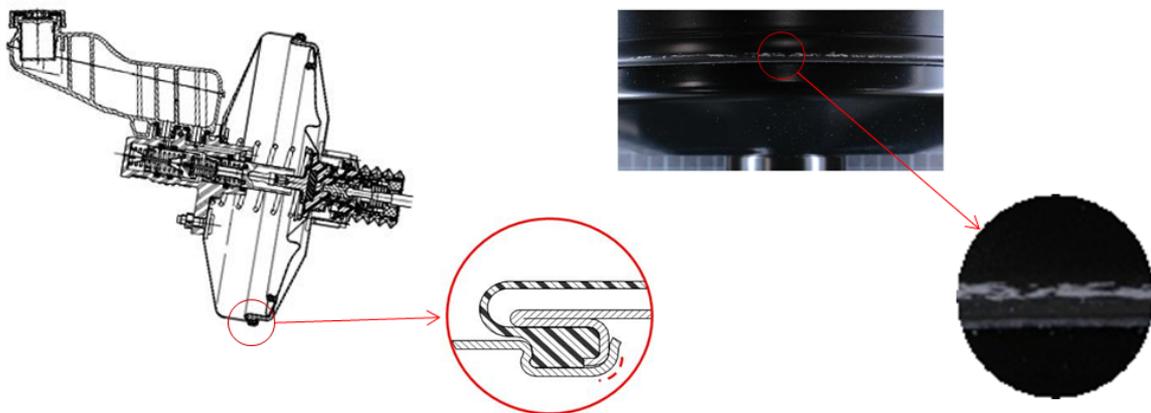


Figura 3.10: Zona desprendimiento de pintura.

Como veremos en nuestro proyecto, los sistemas de frenado además de poseer unas prestaciones iniciales adecuadas, estas se tienen que perpetuar durante la vida del vehículo, con el mismo nivel de seguridad; por esta razón, estos sistemas son sometidos a ensayos extremos, incluyendo su funcionalidad en medios medios corrosivos y de envejecimiento (*Fotografía 3.2*).



Fotografía 3.2: Oxidación zona rulinada

El objetivo de la pintura cataforésica es proteger el amplificador de frenada de la corrosión cuando el vehículo está sometido a un ambiente salino (*Fotografía 3.3*). La falta de esta protección podría producir un envejecimiento prematuro, destruyéndose la unión entre la cámara y la tapa y en consecuencia, la apertura del conjunto con la pérdida total de frenada.



Fotografía 3.3: Prueba resistencia ambiental

El problema del desprendimiento de pintura puede ser analizado bajo dos aspectos: un problema interno producido durante el proceso productivo o un problema externo, imputable al proveedor.

Desde el punto de vista interno, los parámetros de fabricación referentes al rulinado se deben de corresponder con los obtenidos y validados durante los ensayos de industrialización; estos parámetros están recogidos en las especificaciones técnicas de fabricación (PDS⁷) y son utilizados para realizar el ajuste de la estación de rulinado.

Desde el punto de vista externo, los componentes son suministrados por proveedor, el cual también debe de cumplir los requerimientos de calidad acordados contractualmente (QA); nuestro estudio se centrará en este aspecto concreto, realizando un análisis del proceso de pintura cataforésica realizado por el proveedor.

Finalmente, debemos reseñar que la metodología para la resolución de problemas (Problem Solving 8D⁸) en el ámbito de la automoción se basa en dos estrategias bien definidas: incrementar la detección durante el proceso o reducir la ocurrencia del problema. Actualmente, el problema del

⁷ PSD: Product Manufacturing Data Sheet.

⁸ Metodología de resolución de problemas.

desprendimiento de pintura ha sido catalogado como un problema sin causa asignable (NTF⁹), incrementándose las acciones de detección.

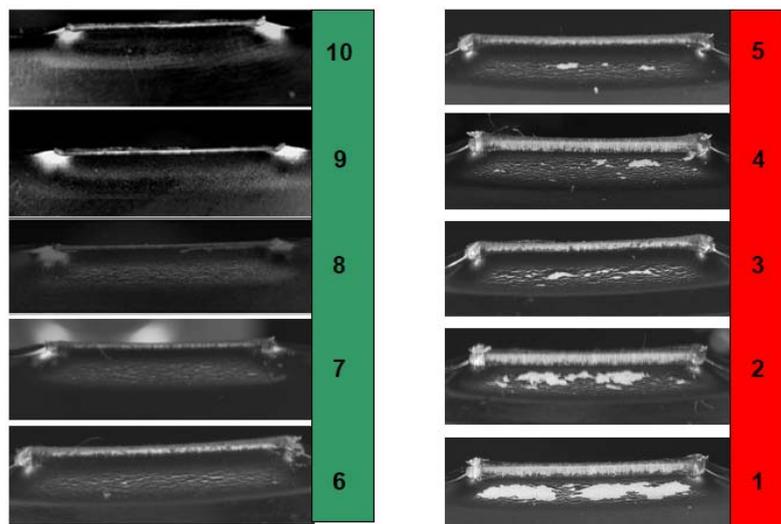
El objetivo de nuestro proyecto estará encaminado a la determinación de la causa raíz que provoca el desprendimiento de pintura, con objetivo de disminuir su ocurrencia, centrándose nuestro análisis en:

- **Rechazo de los conjuntos durante el proceso de rulinado.**
- **Eficacia del proceso de valoración de la calidad del producto suministrado por el proveedor.**

3.1.1.5 Objetivos del proyecto_D1.

3.1.1.5.1 Incremento de la adherencia de la pintura.

El proceso de pintado es realizado externamente, suministrando el proveedor los componentes pintados: cámara anterior y tapa posterior, con un nivel de calidad de acuerdo con una especificación técnica (0204Y21900), mediante la cual se valora la elasticidad de la pintura cuando esta es sometida a un esfuerzo de flexión (*Fotografía 3.4*). El objetivo de este ensayo es someter a la capa de pintura a esfuerzos superiores a los se producirán durante el montaje. En esta especificación se definen un catalogo visual de resultados de plegados mediante el cual es valorado el nivel de resistencia obtenido por la capa de pintura.



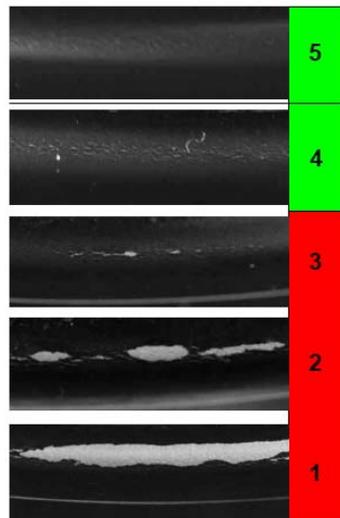
Fotografía 3.4: Escala valoración de la elasticidad de la pintura

- **Objetivo 1:** Los valores de **adherencia** actuales están entre 6 y 7 puntos, nuestro valor objetivo será **9 puntos**.

⁹ NTF: Not Trouble Found

3.1.1.5.2 Reducción del rechazo durante el proceso de rulinado.

Finalizado el montaje se realiza un control visual en la estación de descarga, mediante una especificación técnica (0204Y21891), la cual define los criterios de aceptabilidad visuales del conjunto montado (*Fotografía 3.5*). Debido a los niveles de calidad requeridos en el sector de la automoción son muy altos, los niveles de rechazo son valorados en ppm¹⁰.



Fotografía 3.5: Escala valoración pieza acabada.

- **Objetivo 2:** El nivel inicial de **rechazo** es de 16.282 ppm siendo nuestro objetivo mejorar a **40,5 ppm**.

3.1.1.5.3 Nivel de reclamaciones.

El nivel de reclamaciones es valorado mediante el indicador de calidad PLKZ, el cual tiene en cuenta diferentes factores ponderados relacionados con la calidad suministrada por el proveedor, así como su impacto en cliente final. El indicador PLKz está definido por el polinomio:

$$PLKZ = 1S + 2W + 3M + 4F + 5K$$

Donde:

- S: Concesiones solicitadas por desviación.
- W: Rechazo material en inspección de recepción.
- M: Reactividad del proveedor durante el proceso de reclamación.
- F: Rechazo material durante la producción.
- K: Rechazo del producto detectado en cliente final.

- **Objetivo 3:** El actual nivel de **reclamaciones** es de 29 siendo nuestro objetivo de **1,26 PLKZ**.

¹⁰ ppm: partes por millon.

3.1.1.5.4 Mejora económica esperada.

Los costes de calidad están relacionados con actividades de prevención y evaluación. Las actividades de prevención (formación, QFD¹¹, rediseños, mantenimientos preventivos/predictivos, análisis de fallos, etc.) están dirigidas a evitar los fallos reduciendo su ocurrencia. Las actividades de evaluación (Auditorias, investigación de mercados, inspecciones, formación evaluadores, etc.) se centran en detectar fallos lo antes posible, son costes relacionados con la detección.

Los costes de no calidad pueden estar producidos por fallos internos y externos. Los fallos internos (desechos, reprocesos, reinspecciones, etc.) son los producidos antes de vender el producto, mientras que los externos (servicio postventa, reclamaciones, pleitos, indemnizaciones, pérdida de imagen corporativa, etc.) son los producidos una vez se ha entregado el producto al cliente.

Los costes derivados de los fallos los podemos dividir en tangibles e intangibles. El cálculo de los costes tangibles se puede realizar de forma objetiva; por ejemplo, el desembolso de materia prima o coste de mano de obra. Los costes intangibles son calculados de forma subjetiva; por ejemplo, la pérdida de imagen de la empresa, campañas, desmotivación de la plantilla, perdida de ventas, etc.

Dado que hay fallos de tipo recurrente, las empresas poseen valoraciones del coste unitario para cada tipo de fallo; el departamento de contabilidad analítica informa periódicamente al departamento de calidad del coste unitario para cada uno de estos tipos de fallo, facilitando la valoración y análisis de la tendencia del coste por tipo de fallo.

En resumen, los costes totales relacionados con la calidad son la suma de los costes de calidad (costes prevención y evaluación) y los costes de la no calidad (coste fallos). Un aumento del coste de calidad produce una disminución del coste de la no calidad, siendo necesario buscar el coste optimo de calidad (*Grafico 3.2*). Dado que los costes por prevención y evaluación pueden ser infinitos, tenemos que definir un coste por fallo aceptable, próximo a la situación de “cero defectos”; usualmente los costes por prevención y evaluación dejan de incrementarse cuando estos superan los costes por fallos que se quieren reducir.

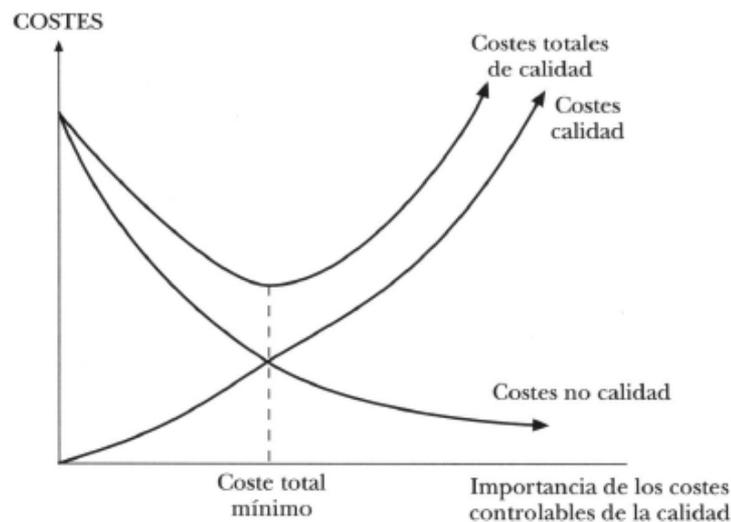


Grafico 3.2: Evolucion costes de calidad.

¹¹ QFD: Quality Function Deployment.

En nuestro proyecto efectuaremos una estimación del coste del fallo por desprendimiento de pintura, de forma marginal; el coste incluirá los costes que la empresa tiene adicionalmente por motivo del fallo y en consecuencia los ingresos que deja de recibir por dicha razón.

- **Objetivo 4:** La mejora económica en nuestro proyecto está valorada en **24000 €**.

3.1.2 Mapa de proceso alto nivel: SIPOC_D2.

El mapa de procesos SIPOC se emplea para presentar una perspectiva general del proceso a mejorar así como las interconexiones entre las actividades involucradas; es el primer paso en la realización de un diagrama de flujo detallado. Su nombre procede de los cinco elementos que lo componen: **S**upplier, **I**nter, **P**rocess, **O**utput y **C**ustomer. El “supplier” es el proveedor que suministra información, materiales u otros recursos al proceso; el “input” se refiere a los elementos introducidos en el proceso; el “process” es el conjunto de etapas que transforman la entrada y añaden valor al resultado; el “output” es el resultado final obtenido del proceso y finalmente el “customer”, que es el cliente que recibe el resultado del proceso.

En nuestro estudio, consideraremos los siguientes elementos:

- **Proveedores:**

BOSCH: Proveedor del diseño de la pieza, material logístico y normas.

AEF: Proveedor de las piezas conformadas por estampación.

Henkel: Proveedor de los componentes utilizados para la realización de fosfatado.

PPG: Proveedor de la pintura.

- **Entradas:**

Pedido de fabricación.

Piezas estampadas.

Desengrasantes.

Afinador químico.

Fosfatado.

Pintura.

Contenedor.

Tarjeta identificación.

- **Procesos:**

Cargado de bastidores.

Pre-desengrasado.

Desengrase.

Afinado.

1º. Lavado.

Fosfatado.

2º. Lavado.
 Polimerización.
 Lavado UFR.
 Lavado UFN.
 Lavado ADR.
 Polimerización.
 Descarga bastidores.
 Control final
 Expedición a cliente.

• **Resultados:**

Pieza pintada.
 Contenedor lleno.
 Tarjeta trazable.
 Producto conforme.

• **Cliente:**

BOSCH.

Mediante la información anterior obtenemos el siguiente SIPOC del proyecto (*Diagrama 3.1*):



Diagrama 3.1: SIPOC proyecto 6σ

3.1.3 Características críticas de cliente_D3.

Es paso se centramos en conocer lo que realmente necesita el cliente, de modo que podamos mejorar su satisfacción.

En nuestro proyecto, el cliente quiere reducir el rechazo por desprendimiento de pintura con el objetivo de poder cumplir un conjunto de requerimientos ambientales a los cuales se ve sometido el amplificador de frenada.

En nuestro caso necesitamos obtener un espesor de pintura que posea buena adhesión con el material base, además de cierta elasticidad para soportar la deformación del material base en el proceso de rulinado. Finalmente, no debemos olvidar que nuestro conjunto tendrá que soportar agresiones como es la resistencia al liquido de frenos, así como ensayos ambientales de niebla salina y resistencia a la humedad.

En el sector de la automoción existe un criterio muy generalizado entre constructores y suministradores de componentes, en referencia a los requerimientos y estandarización de normas; en nuestro caso las normas que evalúan el nivel del producto son (Figura 3.11):

- Espesor capa pintura. 0204Y81063/5.4.1 (ISO 2808)
- Adhesión pintura. 0204Y81063/5.4.2 (ISO 2409)
- Ensayo niebla salina. 0204Y81098 (ISO 9227)
- Ensayo resistencia humedad. 0204Y81063/6 (ISO 6270)
- Resistencia liquido frenos. 0204Y81063/7.1 Requerimiento cliente.
- Ensayo elasticidad pintura. 0204Y21900 Requerimiento cliente.
- Proceso rulinado. 0204Y21891 Requerimiento cliente.
- Plano técnico cliente. 0204777384 Requerimiento cliente.

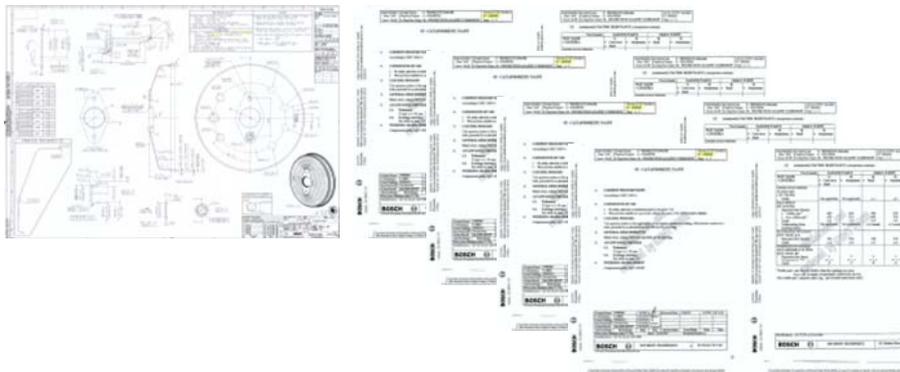


Figura 3.11: Documentación requerimientos producto.

3.1.4 Valoración económica_D4.

La implicación de la dirección en los proyectos 6σ se obtiene cuando existen indicios de obtener una rentabilidad del proyecto; es decir, que los beneficios económicos justifican la dedicación de los recursos. En este sentido, para realizar la valoración económica se utilizan estimaciones validadas por el departamento de contabilidad analítica, sin dedicar excesivos recursos en la obtención de datos precisos.

En nuestro proyecto disponemos de los costes provocados por defectos entre noviembre 2012 y abril 2013.

Materia estampación:	18.682 €
Transportes especiales:	2.620 €
Muestras ensayos:	377 €
Ensayos metalográficos:	1.258 €
Pruebas capa fosfato:	600 €
Gastos productivos BOSCH	(*12) €
Gastos Marginales	24.087 €

3.1.5 Formalización del proyecto_D5.

Como confirmación de que la etapa definir, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

El proyecto no poseía una solución evidente o conocida; además, había sido encargado por la dirección como una mejora relevante, con resultados que repercutirían sobre aspectos económicos y de satisfacción del cliente

El Champion y el Black Belt acordaron el propósito general del proyecto, así como la viabilidad de conseguir los objetivos. Todos los miembros del equipo fueron informados de sus funciones, así como de los recursos disponibles para la realización del proyecto.

Se realizó un diagrama del proceso de alto nivel (SIOPC) con objeto de definir el ámbito en el cual se desarrollara el proyecto; las necesidades del cliente fueron definidas mediante la identificándose las características críticas (CCC¹³); los valores de partida eran conocidos, así como los objetivos de mejora, definiéndose una métrica para poder evaluar el resultado de la mejora.

Los beneficios económicos que podrá reportar el proyecto, se han cuantificado de forma aproximada mediante la información suministrada por el departamento de Contabilidad Analítica.

Los contenidos básicos del proyecto han sido recogidos de forma documental y la planificación de los hitos importantes del proyecto fue definida.

¹² Dato confidencial.

¹³ CCC: Critical Customer Characteristic.

3.1.5.1 Formalización del proyecto 6σ: “Project Charter”.

Como finalización de la etapa “Definir” se elaboro el “Project Charter”, documento el cual recoge toda la información referente al proyecto (*Error! No se encuentra el origen de la referencia.*).

Project Charter: Hoja de Definición.

Fecha: 01/03/2013 Mapa Problema NPT

Título del Proyecto: Reducción del rechazo por defecto de pintura.			
Jefe del Proyecto: Xavier Pellegero xavier.pellegero@bosch.com tel: 650 777 657		Propietario del Proyecto: Tomas Orah Tomas.Orah@bosch.com tel: 655 974 356	
Miembros del Equipo: Fernando Puértolas fernando.puertolas@bosch.com Elena Benedicto Elenabenedicto@atafcrsca.com			
Agente implicado: Mantenimiento, producción, calidad proveedor y calidad cliente			
Descripción del Problema: Desprendimiento de la pintura durante el proceso de rulinado.			
Objetivos:			
	Métrica	Valor inicial	Valor objetivo
1. Incrementar adherencia pintura.	0204 Y2 1900	6-7	9
2. Reducción rechazo en rulinado.	ppm	80.452	40
3. Reducción indicador reclamaciones.	PLKZ	29	8
Resultados económicos esperados: Ahorro marginal por reducción de rechazo 24,000€			
Beneficios esperados Cliente: a.) Eliminar el riesgo de paro de línea por rechazos. b.) Mantenimiento de planificaciones productivas. c.) Evitar selecciones, retrabajos y achatarramiento de piezas. d.) Reducción de la ocupación de espacios en áreas logísticas. e.) Evitar transportes especiales. f.) Mantenimiento de la trazabilidad del producto.			
Recursos disponibles: Equipo multidisciplinar (calidad proveedor, laboratorio cliente y experto de proceso) Línea de pintura proveedor y laboratorio cliente			
Restricciones al proyecto: No especificadas			
Fecha inicio:	01/03/2013	Fecha finalización prevista:	31/03/2014

Figura 3.12: “Project Charter”

3.1.5.2 Planificación del proyecto 6σ: Diagrama de Gantt.

Para el desarrollo del proyecto 6σ se realizo una planificación de todas sus fases más relevantes (*Diagrama 3.2.*).

ID	Nombre	Duración	Inicio	Terminado	Predecesores	Nombres del Recurso	Int. 7. mbr
1	Proyecto Six Sigma Elasticidad Riv...	125 days?	11/03/12 9:00	31/08/12 19:00			9
2	Control Proyecto Champion	10,5 days?	12/03/12 9:00	26/03/12 15:00			12
3	Control proyecto 1	1 day	12/03/12 9:00	12/03/12 19:00			
4	Control proyecto 2	1 day	13/03/12 9:00	13/03/12 19:00	3		
5	Control proyecto 3	1 day	14/03/12 9:00	14/03/12 19:00	4		
6	Control proyecto 4	1 day	15/03/12 9:00	15/03/12 19:00	5		
7	Presentación proyecto	1 day?	23/03/12 15:00	26/03/12 15:00			
8	ED Definir	9 days	12/03/12 9:00	22/03/12 19:00			
9	D1 Objetivo proyecto y equipo	3 days	12/03/12 9:00	14/03/12 19:00			
10	D2 SIPOC	3 days	15/03/12 9:00	19/03/12 19:00	9		
11	D3 Definir CCC	3 days	20/03/12 9:00	22/03/12 19:00	10		
12	D4 Validación económica	2 days	12/03/12 9:00	13/03/12 19:00			
13	D5 Project Charter	3 days	12/03/12 9:00	14/03/12 19:00			
14	D_ F Control proyecto Champion	1 day	15/03/12 9:00	15/03/12 19:00	13		
15	DM Medir	8 days?	12/03/12 9:00	21/03/12 19:00			
16	M1 Diagrama flujo	4 days	16/03/12 9:00	21/03/12 19:00	14		
17	M2 Revisión datos existentes	1 day?	12/03/12 9:00	12/03/12 19:00			
18	M2 Validación Sistema de Ma...	7 days?	12/03/12 9:00	20/03/12 19:00			
19	M2_1 Definir instrucción proceso	1 day	12/03/12 9:00	12/03/12 19:00			
20	M2_2 Elaborar muestras	2 days	13/03/12 9:00	13/03/12 19:00	19SS		
21	M2_3 Realizar prueba RSR	4 days	14/03/12 9:00	19/03/12 19:00			
22	M2_4 Evaluar resultados	1 day	20/03/12 9:00	20/03/12 19:00			
23	M3 Recoger nuevos datos	1 day?	12/03/12 9:00	12/03/12 19:00			
24	M4 Analisar datos	1 day?	13/03/12 9:00	13/03/12 19:00			
25	M5 Cuantificar situación inicial	1 day?	14/03/12 9:00	14/03/12 19:00			
26	M_ F Control proyecto Champion	1 day?	15/03/12 9:00	15/03/12 19:00	25		
27	EA Analisar	1 day?	12/03/12 9:00	12/03/12 19:00			
28	A_ F Control proyecto Champion	1 day?	12/03/12 9:00	12/03/12 19:00			
29	LF Mejorar	1 day?	12/03/12 9:00	12/03/12 19:00			

Diagrama 3.2: Planificación del proyecto 6σ.

3.2 Etapa: Medir_M.

3.2.1 Diagrama de proceso_M1.

Con objeto de poder definir el ámbito en el cual se desarrolla el proceso de mejora, se realizó un diagrama de proceso basado en el SIPOC obtenido en la fase "Definir". En este diagrama de flujo detallado, se tuvieron en cuenta los puntos de toma de resultados así como los parámetros del proceso (Diagrama 3.3).

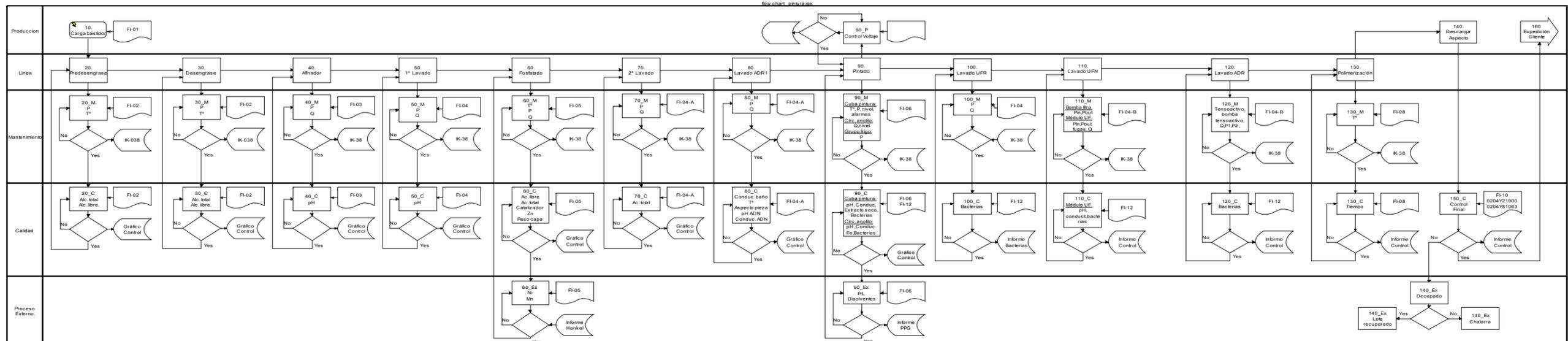


Diagrama 3.3: Sinóptico proceso de pintura.

3.2.2 Planteamiento de preguntas_M1.

En esta primera etapa de la fase medir, fue considerada como crítica por el equipo de trabajo; se trataba de entender cómo se desarrollaba actualmente el proceso a mejorar, mediante el planteamiento de preguntas cuyas respuestas nos deberían dar las claves del origen del problema, poniendo al descubierto las oportunidades de mejora. La etapa definir nos había permitido determinar las “CCC” y las métricas utilizadas para su valoración, que las denominaremos “Y”.

La técnica utilizada por el grupo de trabajo multidisciplinar para la generación de preguntas fue el “Brainstorming¹⁴”; esta técnica es de uso frecuente en los procesos de mejora en los cuales se requieren la realización del trabajo en equipo. El resultado obtenido fue el siguiente:

- 1.- **¿Cuál es el valor actual de elasticidad de la pintura? (Pregunta obligada)**
- 2.- **¿Cuál es el nivel de rechazo actual por pintura? (Pregunta obligada)**
- 3.- **¿Cuál es en número actual de reclamaciones por pintura? (Pregunta obligada)**
- 4.- **¿Cuál es el valor actual del indicador de calidad PLKz?**
- 5.- **¿Por qué la valoración elasticidad entre cliente y proveedor son distintas?**
- 6.- **¿Qué relación tiene la temperatura estacional sobre el rechazo?**
- 7.- **¿Qué influencia tiene la posición de la pieza en el bastidor?**
- 8.- **¿Existe variabilidad de espesor de pintura en la pieza?**
- 9.- **¿Existe una relación entre el espesor de capa y nivel de grapado?**
- 10.- **¿Qué influencia tiene el material base en la capa de pintura?**
- 11.- **¿Qué influencia tiene el voltaje sobre la capa de pintura obtenida?**
- 12.- **¿Los parámetros importantes del proceso de pintado son estables?**
- 13.- **¿Qué influencia tiene el nivel de desengrase sobre la adherencia?**

En esta etapa es mandatorio efectuar las preguntas que tengan relación con la valoración inicial de las “Y”, ya que un elemento clave para poder valorar el éxito del proyecto es poder realizar una evaluación entre el antes y el después.

3.2.3 Revisión datos existentes_M2.

La recogida de datos es una de las tareas más laboriosas y delicadas de los proyectos de mejora. La disposición de los datos suficientes, que puedan responder las preguntas formuladas por el equipo, no garantiza que el resultado del proyecto será exitoso, ya que una de los problemas mas graves que un proyecto de mejora se puede encontrar a la finalización del mismo, es que se ponga en duda el valor de los datos en los que se baso el estudio. Por tal motivo, el equipo de trabajo tenía el objetivo prioritario de asegurar que los datos utilizados provenían de fuentes contrastadas.

¹⁴ Brainstorming: Lluvia de ideas; metodo grupal de generacion de ideas.

3.2.3.1 Valor actual de elasticidad de la pintura.

Los registros de origen fueron suministrados por el departamento de calidad del cliente, responsable de validar las partidas suministradas por el proveedor, antes de que estas sean introducidas en el flujo productivo. La valoración de dichos controles se realizó sobre dos referencias y de acuerdo la instrucción técnica de componentes 0204Y21900¹⁵, obteniéndose los siguientes resultados (*Grafico 3.3*):

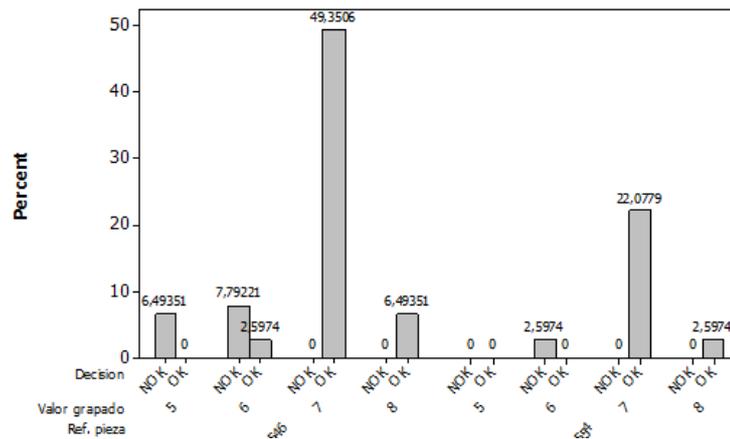


Grafico 3.3: Nivel de grapado obtenido.

- **Conclusión:** El valor máximo obtenido durante la prueba de grapado con el proceso actual es de 8 puntos (9%) y el mas frecuente **7 puntos (71,4%)**. También se pueden observar evaluaciones de 6 (2,6%) como correctas, contrariamente al criterio de aceptación que se define en la instrucción.

3.2.3.2 Numero de defectos debidos a problemas de pintura.

Los datos referentes al rechazo interno, fueron proporcionados por el departamento de calidad de producción del cliente; la cantidad de piezas rechazadas se clasificaron por tipología del defecto, por ejemplo: dimensional fuera de especificación, problemas de oxidación, problemas de pintura, y otros defectos menos relevantes, obteniéndose los resultados mostrados en el siguiente grafico (*Grafico 3.4*).

Las 11.824 piezas rechazadas pertenecen a la totalidad de las referencias producidas, de las cuales 3.198 eran rechazos de las referencias en estudio (546 y 554) sobre una producción de las mismas de 39.750 piezas, obteniéndose 80.453 ppm¹⁶

¹⁵ Instruccion cliente: Shell painting elasticity test instruction.

¹⁶ piezas por millon: ppm = (Piezas defectivas/ Piezas producidas) x 10⁶

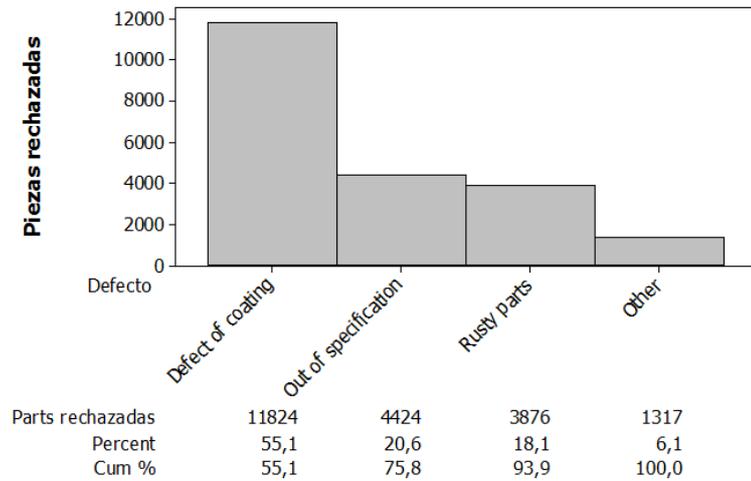


Grafico 3.4: Clasificación defectos pintura.

- **Conclusión:** El 55% de las piezas rechazadas durante el proceso productivo fueron por defectos de pintura en la fase de rulinado, de acuerdo con la instrucción técnica 0204Y21891¹⁷. El nivel de ppm para la referencias en estudio es de **80.453 ppm**.

3.2.3.3 Número de reclamaciones debidas a problemas de pintura.

Los datos de reclamaciones a la recepción, fueron suministrados por el departamento de calidad de planta, el cual es el responsable de verificar los productos proporcionados por el proveedor, obteniéndose los resultados mostrados en el siguiente grafico (Grafico 3.5):

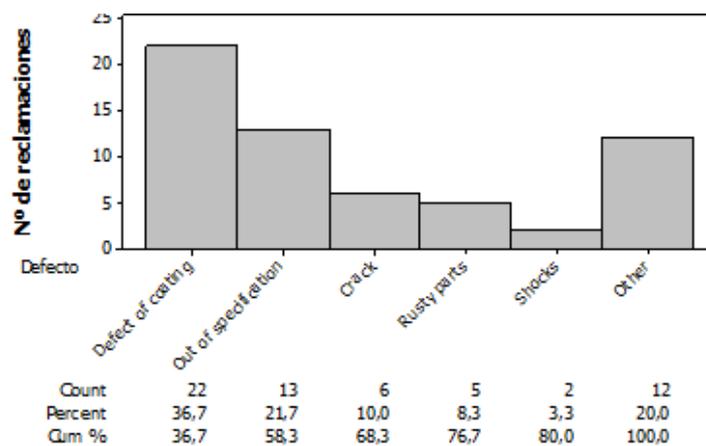


Grafico 3.5: Clasificación reclamaciones estampación.

- **Conclusión:** Aproximadamente, el 37% de las reclamaciones emitidas por el departamento de calidad de proveedores, son debidas a defectos de elasticidad de la pintura

¹⁷ OD Knurling: Product Manufacturing Data Sheet.

3.2.3.4 Valor del indicador de calidad PLKz debido a problemas de pintura.

Debido a la utilización global de proveedores, la responsabilidad del seguimiento del indicador PLKz recae en la central de calidad de proveedores, la cual nos ha informado de un valor de PLKz de 29 puntos, en el periodo 2013.

$$PLKz = 1xS + 2xW + 3xM + 4xF + 5xK$$

$$PLKz = 1x0 + 2x1 + 3x1 + 4x6 + 5x0 = 29$$

Este indicador de calidad, posee diferentes tipos de ponderación, dependiendo de la fase en la cual se detecta la desviación. En el supuesto de que el proveedor pida una derogación por desviación al cliente sobre el producto antes de ser este suministrado, la ponderación tiene valor unitario; en el caso de que la desviación sea detectada durante el proceso de recepción del material, la ponderación tiene un valor de 2; en el supuesto de una reclamación, si la reactividad de proveedor es baja, por ejemplo la falta de acciones de contención, respuesta de 8D, etc., la ponderación es 3; cuando el problema es detectado durante la fase de montaje, la ponderación es 4; finalmente, si el problema es detectado por cliente final, la ponderación es de 5 puntos.

- **Conclusión:** El nivel de partida del indicador PLKz debido a defectos de pintura es de **29 puntos**.

3.2.3.5 Cuestiones pendientes de responder.

El equipo de proyecto exploró los datos existentes, su fiabilidad y su utilidad para dar respuesta a las preguntas planteadas en el apartado anterior. Por otro lado, todavía quedaron las siguientes preguntas por responder, debido a la falta de datos:

¿Por qué la valoración de elasticidad entre cliente y proveedor son distintas?

¿Qué relación tiene la temperatura estacional sobre el rechazo?

¿Qué influencia tiene la posición de la pieza en el bastidor?

¿Existe variabilidad de espesor de pintura en la pieza?

¿Existe una relación entre el espesor de capa y nivel de grapado?

¿Qué influencia tiene el material base en la capa de pintura?

¿Qué influencia tiene el voltaje sobre la capa de pintura obtenida?

¿Los parámetros importantes del proceso de pintado son estables?

¿Qué influencia tiene el nivel de desengrase sobre la adherencia?

Para poder contestar satisfactoriamente todas las preguntas pendientes de respuesta, era necesario recoger nuevos datos. Este proceso de recogida de datos lo revisaremos en la fase M3 "Recogida de nuevos datos".

3.2.4 Validación del sistema de medicion_M2

Según las directrices definidas por los constructores del sector automovilístico: Daimler-Chrysler, Ford y GM en su guía MSA¹⁸, se define el “sistema de medición” como el conjunto de operaciones, procedimientos, instrumentos de medición y otros equipos, software y personal definido para asignar un valor a la característica que está siendo medida.

En nuestro proyecto, la valoración de la adherencia de la pintura catafóresica se efectúa mediante la instrucción técnica 0204Y21900¹⁹. Esta instrucción ha sido elaborada para poder evaluar el nivel de calidad suministrado por el proveedor; en ella se define el dispositivo utilizado para realizar la prueba de elasticidad, así como el criterio de evaluación referente a los resultados obtenidos.

En esta fase, el equipo se centro en analizar el método de evaluación el cual estaba siendo utilizado. El desarrollo general del proceso de medida, se basa en la toma de datos, el análisis de los mismos y la valoración de las conclusiones. Pero los sistemas de medición no son perfectos y los instrumentos de medición también esta sujetos a variaciones. Por ello, es necesario analizar la variabilidad aportada por el sistema de medida y cuáles son las fuentes de su variabilidad, ya que es necesario asegurarse de que esa variabilidad introducida en el sistema de medida, es coherente con las tolerancias técnicas del producto. Cuando se recogen datos existe una variabilidad que puede ser debida a las muestras sometidas a medición, que siempre existe, y una variabilidad introducida por el sistema de medición.

En nuestro estudio nos hemos centrado en la variabilidad introducida por el sistema de medición, el cual lo podemos diferenciar en variabilidad debida los medios de medición, y que se denominamos “repetibilidad”, y la variabilidad debida al personal que realiza las mediciones que se denominamos “reproductibilidad”.

La repetibilidad es la variación en las mediciones hechas por un solo operador sobre el mismo objeto y con el mismo instrumento de medición; se puede decir que es la variación alrededor de la media y esta debe de ser pequeña con respecto a los límites de la variación del proceso. Este tipo de variabilidad es debida al aparato de medida.

La reproductibilidad son las variaciones entre las medias resultantes de las mediciones hechas por varios operadores, sobre las mismas piezas y con el mismo instrumento de medición. Este tipo de variabilidad es debida al procedimiento de medición.

¹⁸ Measurement Systems Analysis.

¹⁹ NOAH Shell painting: Elasticity Test Instrucion.

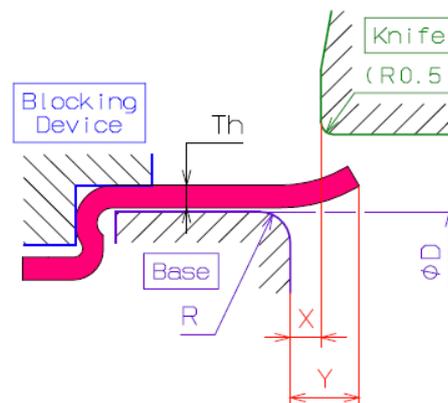
3.2.4.1 Método de medida.

El estudio R&R²⁰ se realizó según el referencial técnico “Capacidad de la medida y procesos de evaluación²¹” suministrado por cliente. Las condiciones del estudio de R&R fueron las siguientes.

Procedimiento ensayo:	Guía BOSCH nº10.
Método de evaluación:	0204Y21900.
Tipo de ensayo:	Diseño cruzado.
Nº muestras:	60
Identificación muestras:	Identificación oculta.
Nº de replicas.	2
Orden de evaluación:	1ª replica ordenada y la 2ª aleatoria.
Nº evaluadores:	3 evaluadores formación instrucción técnica 0204Y21900.
Dimensión técnica:	8,5±1,5 puntos.
Software estadístico:	Minitab ^{®22}

3.2.4.2 Elaboración de las muestras.

Para realizar nuestro estudio, se utilizaron 10 cámaras de la ref. 0204777384 a las que se les provocaron 6 doblados a cada una obteniendo 60 muestras para valoración, de acuerdo con la instrucción técnica 0204Y21900 (*Fotografía 3.6*). Durante el proceso de doblado, la máquina de ensayo fue sesgada con objeto de poder cubrir el rango de valoraciones definidas en el la instrucción técnica.



Fotografía 3.6: Ensayo elasticidad pintura segun 0204Y21900

²⁰ Repeatability and Reproducibility.

²¹ Quality Management in the BOSCH Group/ Technical Statistics

²² Marca registrada en Minitab Inc.

3.2.4.3 Identificación de las muestras.

La codificación definida de las 60 se realizó de forma aleatoria (Figura 3.13). Además, se hizo uso de la identificación oculta para que el evaluador no se viera influenciado en el momento de realizar la prueba.

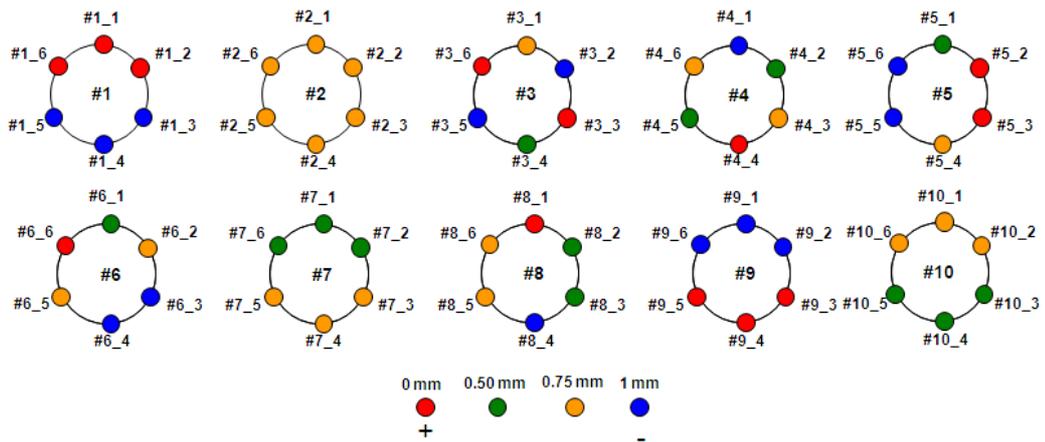
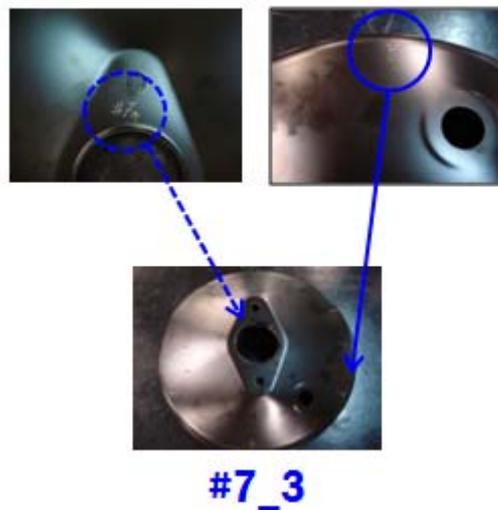


Figura 3.13: Codificación muestras de ensayo.

El primer dígito, del 1 al 10, determinaba la pieza sobre la que se había efectuado la doblez; el segundo dígito, del 1 al 6, ubicaba la posición de la doblez dentro de cada pieza, respetando el sentido horario. Por ejemplo, la muestra #7_3 pertenece a la pieza #1 y está situada la tercera (Fotografía 3.7).



Fotografía 3.7: Identificación oculta de muestras.

3.2.4.4 Resultados obtenidos.

Los datos utilizados para la evaluación del método de medida fueron obtenidos en las instalaciones del proveedor y de cliente. Las 60 muestras, fueron evaluadas por tres empleados del equipo de control de calidad del proveedor, dos veces; de igual forma, el proceso fue repetido en las instalaciones del cliente, por empleados pertenecientes al departamento de calidad responsable de realizar la recepción técnica de los componentes.

3.2.4.4.1 Resultados prueba en proveedor.

Las evaluaciones realizadas sobre cada pieza, por cada uno de los evaluadores con las dos replicas, fueron registrados (*Grafico 3.6*).

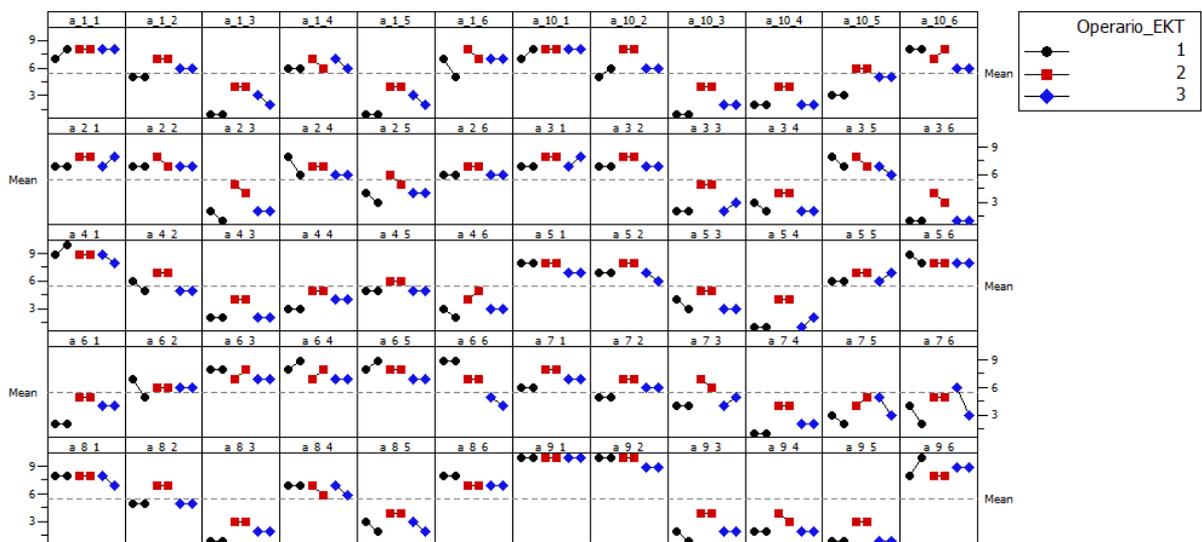


Grafico 3.6: Resultados evaluacion R&R proveedor.

La variabilidad de los tres evaluadores para realizar la valoración de las muestras también fue analizada, obteniendo distintos criterios de evaluación entre ellos (*Grafico 3.7*).

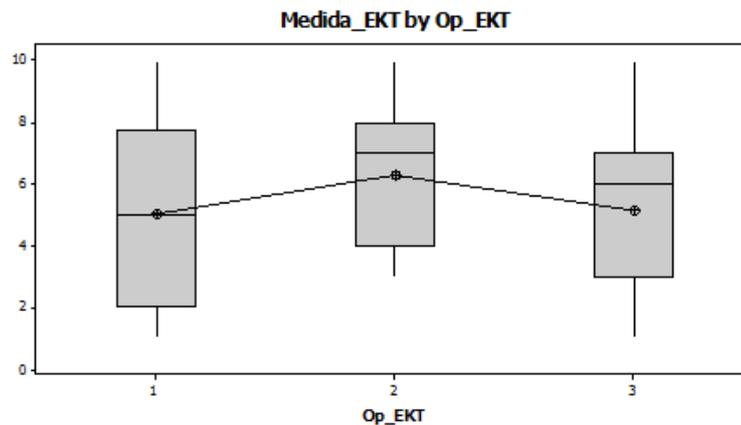


Grafico 3.7: Resultados variabilidad evaluadores proveedor.

Con los datos obtenidos, se realizo un análisis de la varianza; de los dos métodos de análisis que nos permite utilizar el software Minitab®, se opto por la ANOVA²³ por considerar que este método mas es el mas exacto. El número de desviaciones tipo que definen la anchura de las campanas que representaran cada una de las fuentes de variación, fue fijado en 6σ, con un nivel de p-valor de 0,25, obteniendo los resultados (Tabla 3.1):

Gage R&R for Medida_EKT					
Source	DF	SS	MS	F	P
Muestra	59	1870,61	31,7052	27,5495	0,000
Op_EKT	2	110,87	55,4333	48,1674	0,000
Muestra * Op_EKT	118	135,80	1,1508	5,1149	0,000
Repeatability	180	40,50	0,2250		
Total	359	2157,77			

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	1,14028	18,30
Repeatability	0,22500	3,61
Reproducibility	0,91528	14,69
Op_EKT	0,45235	7,26
Op_EKT*Muestra	0,46292	7,43
Part-To-Part	5,09240	81,70
Total Variation	6,23267	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	1,06784	6,4070	42,77	213,57
Repeatability	0,47434	2,8460	19,00	94,87
Reproducibility	0,95670	5,7402	38,32	191,34
Op_EKT	0,67257	4,0354	26,94	134,51
Op_EKT*Muestra	0,68038	4,0823	27,25	136,08
Part-To-Part	2,25663	13,5398	90,39	451,33
Total Variation	2,49653	14,9792	100,00	499,31

Tabla 3.1: Tabla resultados R&R proveedor.

Los resultados obtenidos del análisis de la varianza, están mostrados en siguiente grafico (Grafico 3.8)

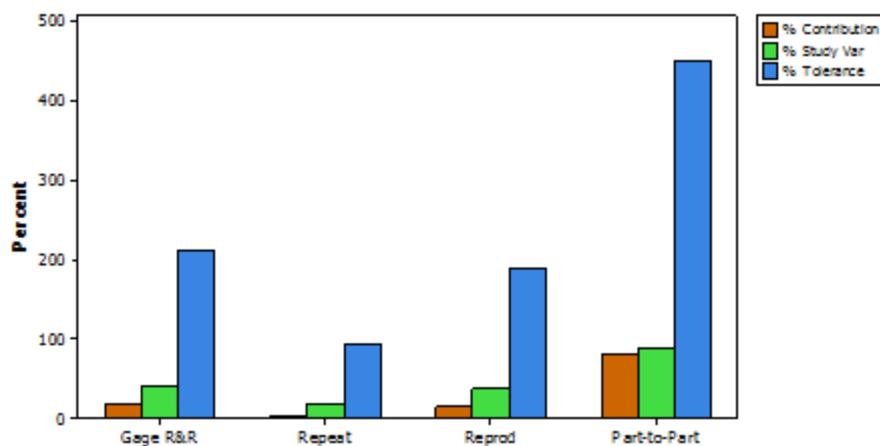


Grafico 3.8: Componentes variabilidad R&R proveedor.

²³ Analysis of Variance.

3.2.4.4.2 Resultados prueba en cliente.

Con el mismo método y criterio de inspección utilizado por el proveedor, las mismas 60 muestras fueron también evaluadas por los medios disponibles en la planta de cliente, obteniéndose los resultados mostrados (Grafico 3.9).

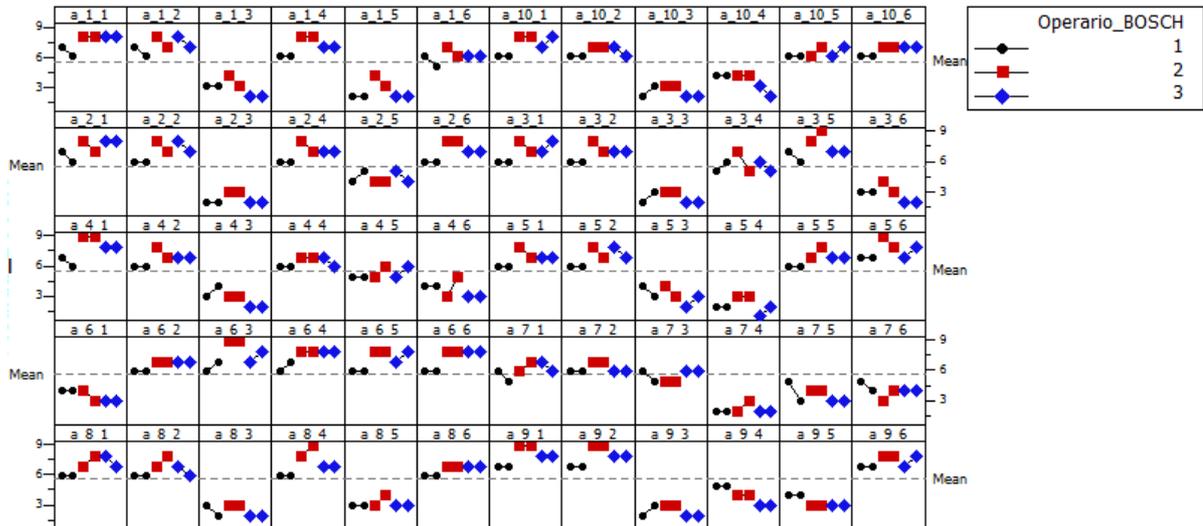


Grafico 3.9: Resultados evaluación R&R cliente.

Además, la variabilidad de los evaluadores para realizar la evaluación de las muestras, también fue analizada, mostrándose variabilidad en el criterio de evaluación, de la misma forma que fue detectado en el proveedor en el proveedor (Grafico 3.10).

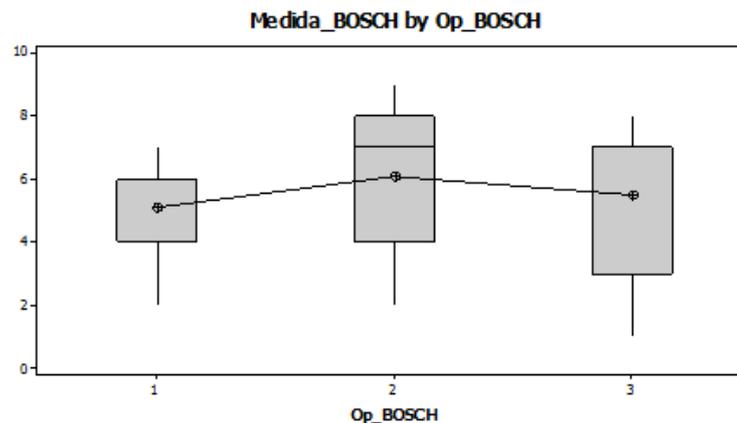


Grafico 3.10: Resultados Variabilidad evaluadores cliente.

El análisis de ANOVA fue realizado manteniendo los criterios de partida utilizados en proveedor, obteniendo los resultados mostrados en la tabla (Tabla 3.1).

Gage R&R for Medida_BOSCH

Source	DF	SS	MS	F	P
Muestra	59	1362,27	23,0894	34,0002	0,000
Op_BOSCH	2	56,87	28,4333	41,8694	0,000
Muestra *Op_BOSCH	118	80,13	0,6791	3,0946	0,000
Repeatability	180	39,50	0,2194		
Total	359	1538,78			

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,68056	15,41
Repeatability	0,21944	4,97
Reproducibility	0,46111	10,44
Op_BOSCH	0,23129	5,24
Op_BOSCH*Muestra	0,22983	5,20
Part-To-Part	3,73505	84,59
Total Variation	4,41561	100,00

Process tolerance = 3

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,82496	4,9497	39,26	164,99
Repeatability	0,46845	2,8107	22,29	93,69
Reproducibility	0,67905	4,0743	32,32	135,81
Op_BOSCH	0,48092	2,8855	22,89	96,18
Op_BOSCH *Muestra	0,47940	2,8764	22,81	95,88
Part-To-Part	1,93263	11,5958	91,97	386,53
Total Variation	2,10133	12,6080	100,00	420,27

Tabla 3.2: Tabla resultados R&R cliente.

El resumen de los resultados obtenidos en el estudio de R&R con los medios de cliente, están mostrados en el grafico (Grafico 3.11).

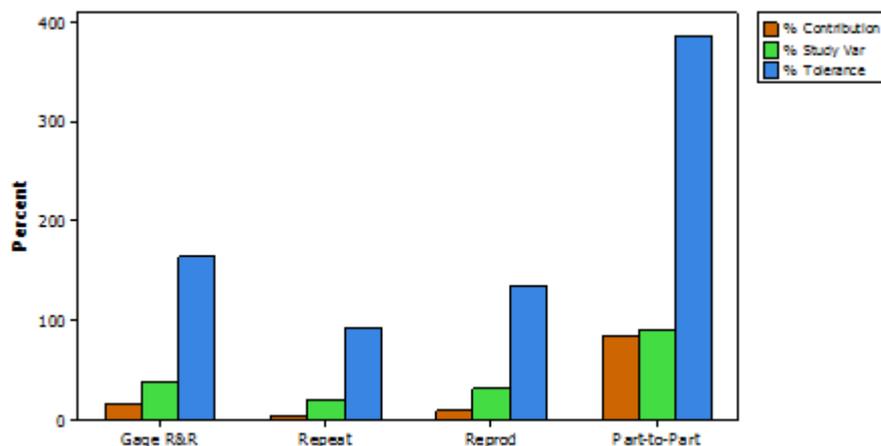


Grafico 3.11: Componentes variabilidad R&R cliente.

3.2.4.4.3 Conclusiones análisis R&R.

Los resultados muestran valores considerables debido a la variación entre Piezas medidas; este dato no es relevante para nuestro estudio, ya que las piezas fueron elaboradas precisamente para cubrir todo el rango de tolerancia.

Es importante reseñar el valor obtenido referente al total de media R&R, el cual considera la Repetibilidad introducida por la medida, y la Reproducibilidad debida al personal de evaluación. El criterio del evaluador es un factor importante en el sistema de medición estudiado, pudiéndose encontrar discrepancias de hasta tres puntos sobre la misma muestra entre evaluadores; los datos muestran que existen evaluadores con un criterio mas critico o evaluadores que no mantienen su criterio de evaluación durante la segunda evaluación.

Para valorar esta variabilidad en referencia a los limites de tolerancia técnicos, se define el %GRR²⁴ como la relación entre la anchura de variación debida al sistema de medida y la anchura del intervalo de especificación; de acuerdo con los requerimientos MSA²⁵ del sector de la automoción, es criterio de aceptación es:

%GRR ≤ 10%	Sistema de Medición con Capacidad.
10% ≤ %GRR ≤ 30%	Sistema de Medición con Capacidad condicional.
%GRR > 30%	Sistema de Medición sin Capacidad.

En nuestro caso hemos obtenido un valor de **213,57%** en proveedor y de **164,99%** en cliente, con lo que queda demostrado que nuestro sistema de valoración no tiene capacidad.

²⁴ %GRR = 6 x 100 x (GRR/T)

²⁵ Measurement Systems Analysis.

3.2.5 Recogida de nuevos datos_M3.

En el apartado “3.2.3.5 Cuestiones pendientes de responder”, no se pudo dar respuesta a las siguientes preguntas planteadas:

- ¿Por qué la valoración de elasticidad entre cliente y proveedor son distintas?
- ¿Qué relación tiene la temperatura estacional sobre el rechazo?
- ¿Qué influencia tiene la posición de la pieza en el bastidor?
- ¿Existe variabilidad de espesor de pintura en la pieza?
- ¿Existe una relación entre el espesor de capa y nivel de grapado?
- ¿Qué influencia tiene el material base en la capa de pintura?
- ¿Qué influencia tiene el voltaje sobre la capa de pintura obtenida?
- ¿Los parámetros importantes del proceso de pintado son estables?
- ¿Qué influencia tiene el nivel de desengrase sobre la adherencia?

En esta fase, se efectuara la recogida de datos nuevos para dar respuesta a todas las preguntas planteadas. En este sentido, el equipo ha tratado de encontrar el punto adecuado para que no falten datos, sin realizar una recogida exhaustiva que finalmente no aporten valor a nuestro estudio.

3.2.5.1 Influencia de la temperatura estacional sobre el rechazo.

- **Hipótesis:** Se ha detectado que el rechazo por desprendimiento de pintura es más importante en los meses de invierno. Se quiere averiguar de dañado de la estructura de capa de pintura debida a las variaciones térmicas durante el transporte o el almacenamiento; se propone realizar una simulación de envejecimiento térmico de las muestras, para poder verificar la hipótesis de partida.
- **Prueba propuesta:** Realizar un envejecimiento térmico inmediatamente después del proceso de pintado, de acuerdo con el siguiente plan de ensayos:
 - 1 pieza almacenada 4 días a temperatura ambiente.
 - 1 pieza envejecida 4 días a -7°C.
 - 1 pieza almacenada 20 días a temperatura ambiente.
 - 1 pieza envejecida 20 días a -7°C.

3.2.5.2 Influencia de la posición de la pieza en el bastidor en el proceso de pintura.

- **Hipótesis:** Se quiere analizar la influencia que tiene el posicionamiento de las piezas en el bastidor y la capa de pintura obtenida.
- **Prueba propuesta:** Seleccionar seis posiciones del bastidor que por su situación pudieran estar influenciadas por el proceso; este ensayo será repetido cuatro veces.



Fotografía 3.8: Bastidores pintura.



Ilustración 3.1: Posición piezas bastidor.

3.2.5.3 Variabilidad del espesor de pintura en la pieza.

- **Hipótesis:** Con objeto de no dañar la pieza durante el proceso de pintado, estas son colgadas siempre del mismo lugar, pudiéndose observar dos tipos de brillo en la misma pieza. Se quiere analizar la influencia de la posición de colgado y la capa de pintura obtenida.
- **Prueba propuesta:** Realizar el control del espesor de seis piezas, en siete puntos de las mismas que pudieran estar influenciadas por el proceso; este ensayo será repetido cuatro veces.



Fotografía 3.9: Puntos medida de espesor.

3.2.5.4 Relación entre el espesor de capa de pintura y el nivel de grapado obtenido.

- **Hipótesis:** Se quiere conocer la relación que existe entre el espesor de capa de pintura de la pieza y los valores de grapado obtenidos.
- **Prueba propuesta:** Realizar un control de espesor de seis piezas en los puntos periféricos de grapado 6 y 7.

3.2.5.5 Influencia del material base sobre la capa de pintura obtenida.

- **Hipótesis:** Existe una relación entre las características de la superficie del material base y la pintura depositada.
- **Prueba propuesta:** Se situara una probeta de acero base y otra de acero galvanizado en la posición nº5 del bastidor; un estudio comparativo de la estructura obtenida será realizado.

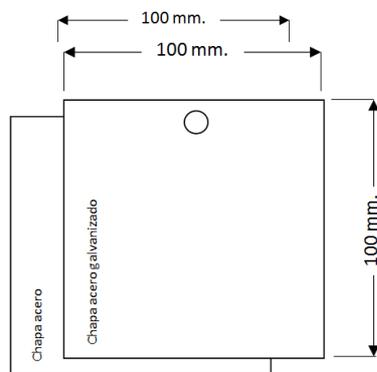
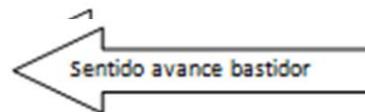


Ilustración 3.3: Probetas ensayo.



5							

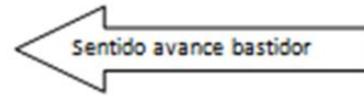
Ilustración 3.2: Posición piezas bastidor.

3.2.5.6 Influencia del voltaje sobre la capa de pintura obtenida.

- **Hipótesis:** El nivel de tensión aplicado a las piezas durante el proceso de pintado tiene una influencia sobre los espesores obtenidos.
- **Prueba propuesta:** Con piezas situadas en las posiciones de bastidor nº1, nº2 y nº3, efectuar ensayos a dos niveles de tensión: 230V y 250V; el resultado se evaluara mediante la medición de espesores en 7 puntos determinados.



Fotografia 3.10: Puntos medida espesor



1									
2									
3									

Ilustración 3.4: Posicion piezas bastidor.

3.2.6 Responder preguntas planteadas. Analizar datos_M4.

En esta etapa del proyecto y mediante los datos recogidos en las etapas M2 y M3, se intento dar respuesta a las preguntas planteadas. Además, de acuerdo con los resultados obtenidos se valoro la posibilidad de plantear nuevas preguntas.

3.2.6.1 Valor actual de elasticidad de la pintura.

Se realizo un estudio de capacidad con los resultados de grapado registrados, obteniéndose los siguientes resultados (Grafico 3.12).

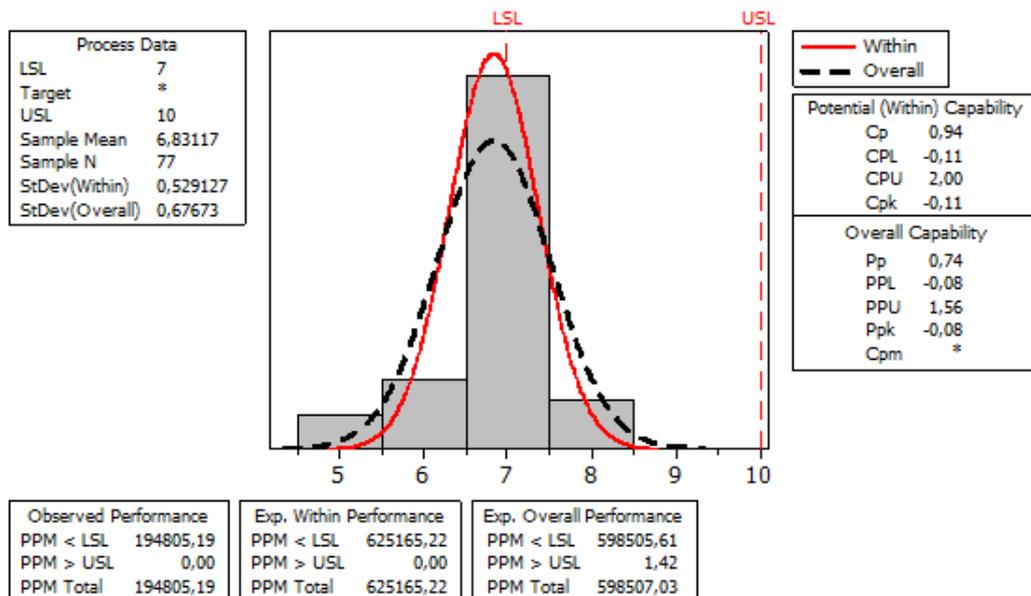


Grafico 3.12: Estudio capacidad grapado

- **Conclusión:** El resultado obtenido con 77 muestras, no presenta una distribución centrada. El índice de capacidad obtenido Ppk^{26} es inferior al 1.33 y se observa que el 59% de las valoraciones están por debajo de 7 puntos. Además, los gráficos de medios y recorridos nos muestran un proceso inestable (*Grafico 3.13*).

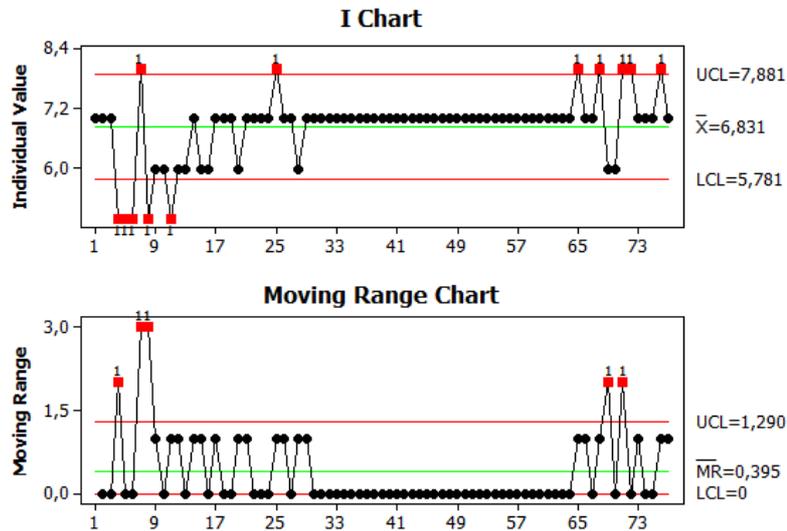


Grafico 3.13: Evolución nivel de grapado.

3.2.6.2 Nivel actual de rechazo por pintura.

Para el cálculo se utilizaron los resultados de producción en cliente realizados entre el noviembre del 2010 y abril 2011, de las referencias 546 y 554.

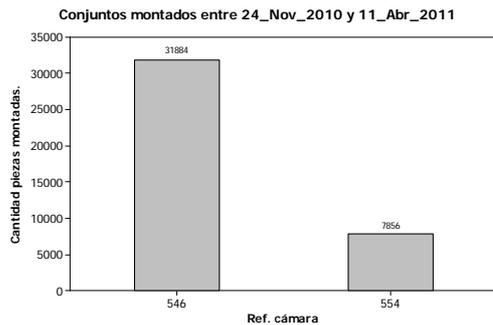


Grafico 3.15: Cantidad conjuntos montados.

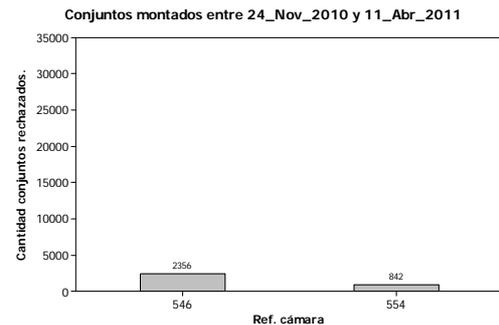


Grafico 3.14: Cantidad conjuntos rechazados.

- **Conclusión:** Como muestran *Grafico 3.15* y *Grafico 3.14*, en el periodo de referencia se han contabilizado 80.473 ppm ($3.198/39.750 \times 10^6$) debidos a defectos de pintura.

²⁶ $Ppk = \min \left[\frac{USL - \mu_{max}}{3\sigma}, \frac{\mu_{min} - LSL}{3\sigma} \right]$

3.2.6.3 Influencia de la temperatura estacional sobre el rechazo.

Las piezas fueron sometidas a un envejecimiento previo a baja temperatura (-7°C) y temperatura ambiente durante una semana para posteriormente ser montadas, obteniéndose los siguientes resultados:



Fotografía 3.12: Montaje pieza 1W/RT



Fotografía 3.11: Montaje pieza 1W/-7°C

- **Conclusión:** Las piezas montadas previo almacenaje durante una semana a temperatura ambiente (Fotografía 3.12) y a -7°C (Fotografía 3.11), cumplen con los requerimientos definidos en la instrucción técnica 0204Y21891. Podemos concluir diciendo que no existe ninguna relación entre el almacenaje a baja temperatura y el rechazo obtenido durante el rulinado.

Además, las piezas fueron almacenadas durante 4 y 20 días a baja y a temperatura ambiente, realizándose posteriormente la valoración de adherencia de la pintura, obteniéndose los siguientes resultados:

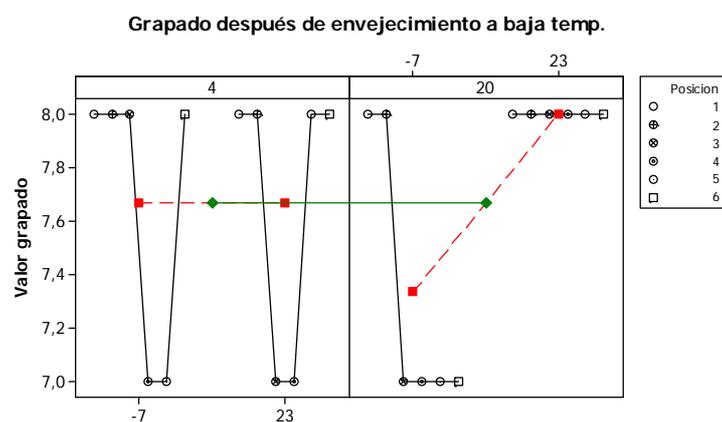


Grafico 3.16: Resultado adherencia pintura previo envejecimiento

- **Conclusión:** Después de 4 días en almacenamiento a baja y temperatura ambiente, las muestras presentaron los mismos valores de puntuación, de acuerdo con la instrucción técnica 02010Y21900; transcurridos 20 días, las muestras sometidas a baja temperatura presentaron un empeoramiento, mientras que las piezas sometidas a las piezas almacenadas a temperatura ambiente presentaron una mejora (Grafico 3.16).

3.2.6.4 Relación entre el posicionado de la pieza en el bastidor y espesor obtenido.

Seis piezas fueron posicionadas en los extremos y la parte central del bastidor (Ilustración 3.5), por considerar que estas posiciones podrían tener influencia sobre los niveles de espesor obtenidos. Esta prueba fue repetida cuatro veces.

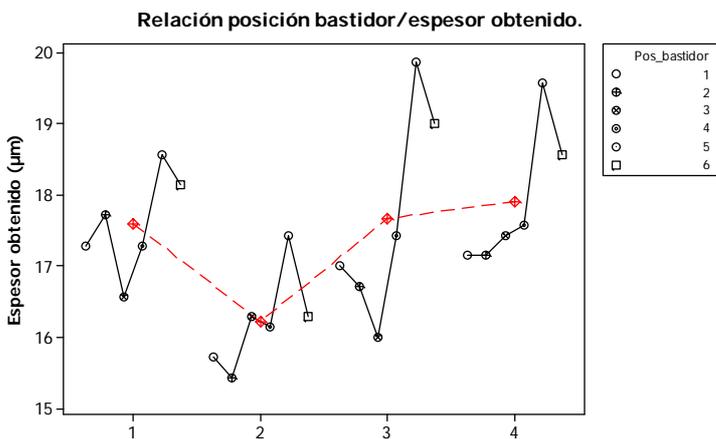


Gráfico 3.17: Resultado posición bastidor/ espesor pintura.



Ilustración 3.5: Posición piezas bastidor.

- **Conclusión:** Las piezas situadas en la parte baja del bastidor, posiciones 5 y 6, presentan mayor espesor de pintura (Gráfico 3.17); esto puede ser debido a que las piezas situadas en la posición 5 es la primera en introducirse en el baño y la ultima en salir.

3.2.6.5 Variabilidad de espesor de pintura en la pieza.

Se realizo un control de cuatro piezas, midiendo el espesor en siete puntos de cada muestra que pudieran estar influenciado durante el proceso de pintado (Fotografía 3.13).

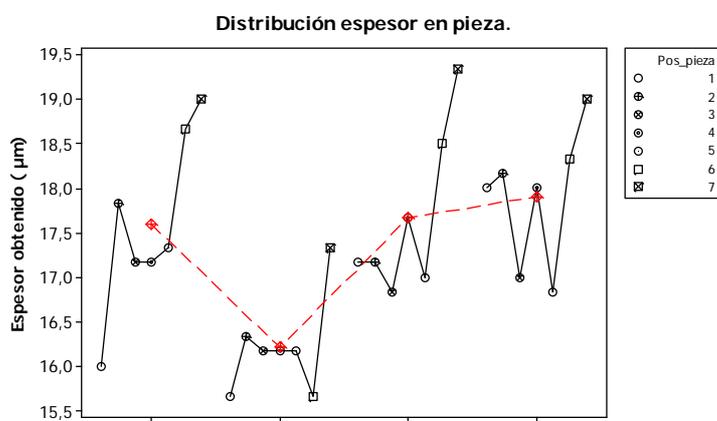


Gráfico 3.18: Resultado espesor pintura pieza



Fotografía 3.13: Puntos medida espesor

- **Conclusión:** Los mayores espesores de pintura están localizados en la zona periférica de las piezas, posiciones nº6 y nº7.

3.2.6.6 Relación entre el espesor de capa y nivel de grapado obtenido.

El control del espesor en los puntos periféricos 6 y 7 (*Fotografía 3.14*), con 6 muestras.

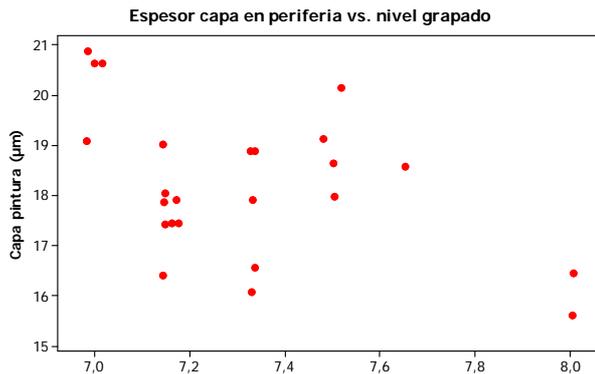


Gráfico 3.19: Resultados espesor extremo pieza.



Fotografía 3.14: Puntos medida espesor.

- **Conclusión:** Un aumento en la capa de pintura parece producir una disminución en los niveles de grapado obtenidos (*Gráfico 3.19*.)

3.2.6.7 Influencia del material base sobre la capa de pintura obtenida.

Se situaron dos muestras en la posición inferior nº5 del bastidor (*Ilustración 3.6*), una de acero y otra de acero galvanizado (*Figura 3.14*), evaluándose posteriormente las características mecánicas de la capa, así como la estructura de la capa de fosfato obtenida.

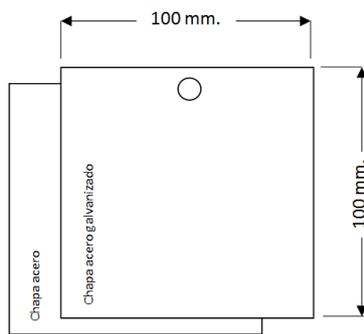


Figura 3.14: Muestras material base.

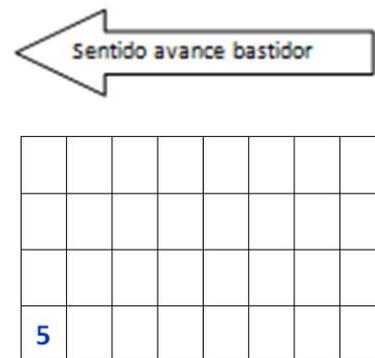
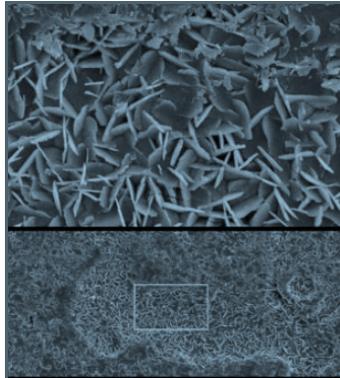
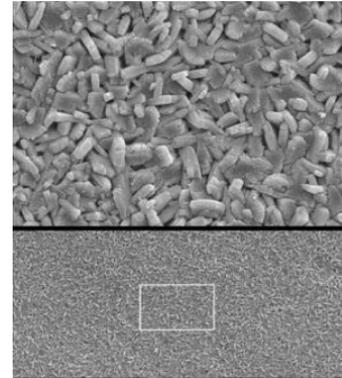


Ilustración 3.6: Posición piezas bastidor.

La estructura de la capa fosfatada obtenida con los dos materiales fue analizada (*Fotografía 3.15*) y (*Fotografía 3.16*):



Fotografía 3.15: Estructura tipo agujas.



Fotografía 3.16: Estructura tipo adoquines.

Las características de estructura obtenidas fueron evaluadas (*Tabla 3.3*).

Material Característica	Acero	Acero galvanizado
Morfología estructural	Adoquines	Agujas
Cobertura	100%	100%
Tamaño cristal	1-3 μm	2-5 μm
Ampliación	3500/700	3500/700

Tabla 3.3: Resultados capa de fosfato.

- **Conclusión:** Aunque el material base influye en la estructura generada de la capa de fosfato, ambas muestras presentan una buena cobertura y estructura cristalina para la fijación de la resina.

Las características mecánicas obtenidas con las dos muestras ensayadas fueron evaluadas de acuerdo a los requerimientos técnicos (*Tabla 3.4*).

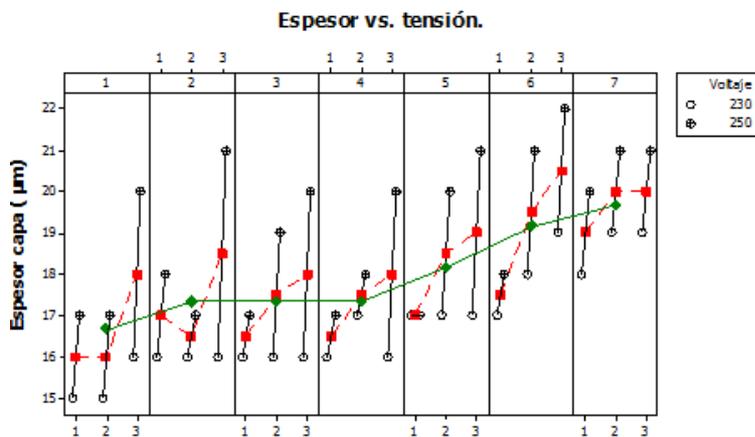
Ensayo	Norma	Probeta acero	Probeta acero galv.
Espesor		16,5	17
Adherencia	UNE-EN ISO 2409	Gt-0	Gt-0
Flexibilidad	AST D522-41	No fisuras	No fisuras
Impacto	ASTM D2794-90	Directo: 100 Indirecto: 100	Directo: 100 Indirecto: 100
Dureza lapiz	NISSAN NESS0007	6H	6H

Tabla 3.4: Resultados mecanicos capa de pintura.

- **Conclusión:** La igualdad de los resultados obtenidos con los dos tipos de materiales, nos indican que no existe ninguna influencia del material base sobre las características mecánicas obtenidas.

3.2.6.8 Influencia del voltaje sobre el espesor de capa de pintura.

Las muestras se situaron en las posiciones n1, n2 y n3 del bastidor (Ilustración 3.7), controlándose el espesor obtenido a dos niveles de tensión: 230 V y 250 V (Gràfica 3.20).



Gràfica 3.20: Resultado relacion espesor/ tension.



Ilustración 3.7: Posición piezas bastidor.

- **Conclusión:** A mayor tensión aplicada durante el proceso de pintura, mayor es la capa obtenida; este incremento es mas acentuado en la posición n3 del bastidor. Además, los mayores espesores de capa se obtienen en los puntos perimetrales de la pieza (Fotografía 3.17).



Fotografía 3.17: Puntos medida espesor.

3.2.7 Cuantificación de la situación de partida_M5.

Una vez evaluadas las pruebas realizadas podemos afirmar:

- El sistema de medida no tiene capacidad; el %R&R es superior al 10%.
- La capa de pintura obtenida depende de la posición de la pieza en el bastidor, presentándose variabilidad de resultados entre los ensayos realizados.
- La capa de pintura obtenida en la pieza no es homogénea, presentándose variabilidad de resultados entre ensayos.
- No está confirmada una relación clara entre el espesor de capa de pintura y el nivel de grapado obtenido.
- No existe ninguna diferencia funcional en la capa de pintura obtenida con los dos tipos de material base ensayada: acero y acero galvanizado.
- Un incremento del voltaje en el proceso implica un aumento del espesor la capa de pintura obtenida.

3.3 Etapa: ANALIZAR_A

Como resultado de las actividades desarrolladas en el etapa Medir, se obtuvo un conocimiento profundo del proceso objeto de mejora. El equipo 6 σ efectuó una revisión de los objetivos definidos inicialmente así como del enfoque del proyecto.

3.3.1 Reenfocar y concretar el proyecto_A1

Una vez evaluado de forma general el proyecto a mejorar desde su enfoque inicial, este fue dividido en distintas actividades, definiendo acciones y responsables para llevar a cabo su realización:

- Revisar el sistema de medición definido en la instrucción técnica 0204Y21900.
Responsable: Cliente.
- Revisar el FMEA²⁷ del proceso de pintura y definir las características críticas.
Responsable: Proveedor.
- Analizar la estabilidad de las características críticas del proceso de pintura.
Responsable: Proveedor.
- Definir el SPC²⁸ para las características críticas de proceso de pintura.
Responsable: Proveedor/cliente.
- Introducir SPC en el Plan de Control de la Calidad del proceso de pintura.
Responsable: Proveedor.
- Revisar instrucción de control con el caso más desfavorable de bastidor.
Responsable: Proveedor.

The image shows a control plan document with a large 'CONFIDENCIAL' watermark. The document is titled 'CONTROL PLAN' and 'ANALISIS DE PROCESO'. It contains several tables with columns for 'Característica', 'Método de Medición', 'Frecuencia de Medición', 'Responsable', and 'Evidencia'. The tables are partially filled with data, but the watermark obscures much of the content.

Figura 3.15: Documentación proceso.

²⁷ Failure Mode and Effect Analysis.

²⁸ Statistical Process Control.

3.3.2 Revisar el “Project Charter”_A1.

Los objetivos de los proyectos 6σ los podemos dividir en dos categorías: proyectos para resolución de problemas y proyectos de mejora. Obviamente estas categorías no son disjuntas, existiendo proyectos que reúnen las características de ambos; además, es evidente que todos los proyectos representan finalmente una acción de mejora. Sin embargo, esta división resulta útil para identificar cuáles son las herramientas mas adecuadas en esta fase. Tanto sea de un tipo como de otro, una de las consecuencias mas importantes del conocimiento adquirido en la etapa Medir, es el poder percatarse que parte del proyecto contribuirá a la consecución de nuestros objetivos.

El equipo de trabajo reviso el enfoque y objetivos definidos al inicio del proyecto, considerando que se debía de mantener el “Project Charter” inicial (Figura 3.16).

Project Charter: Hoja de Definición.
 Fecha: 01/09/2013 Mejora Problema NFI

Título del Proyecto:			
Reducción del rechazo por defecto de pintura.			
Jefe del Proyecto:		Propietario del Proyecto:	
Xavier Pellegero Xavier.Pellegero@bosch.com tel. 650 777 857		Tomas Dask Tomas.Dask@bosch.com tel. 650 874 356	
Miembros del Equipo			
Fernado Puértolas Fernado.Puertolas@bosch.com		Elena Benedicto E.benedicto@katatbrescia.com	
Agentes implicados:			
Mantenimiento, producción, calidad proveedor y calidad cliente			
Descripción del Problema:			
Despordimiento de la pintura durante el proceso de rulinado.			
Objetivo:	Métrica	Valor inicial	Valor objetivo
1. Incrementar adherencia pintura.	0204Y21900	6-7	9
2. Reducción rechazo en rulinado.	ppm	88.452	40
3. Reducción indicador reclamaciones.	PLKZ.	28	8
Resultados económicos esperados:			
Ahorro marginal por reducción de rechazo 24,000€			
Beneficios esperados Cliente			
a.) Eliminar el riesgo de paro de línea por rechazos. b.) Mantenimiento de planificaciones productivas. c.) Evitar selecciones, retrabajos y achatarramiento de piezas. d.) Reducción de la ocupación de espacios en áreas logísticas. e.) Evitar transportes especiales. f.) Mantenimiento de la trazabilidad del producto.			
Recursos disponibles:			
Equipo multidisciplinar (calidad proveedor, laboratorio cliente y experto de proceso) Línea de pintura proveedor y laboratorio cliente			
Restricciones al proyecto:			
No especificadas			
Fecha inicio:	01/09/2013	Fecha finalización prevista:	31/03/2014

Figura 3.16: “Project Charter”.

3.3.3 Generación de hipotesis_A2.

Las etapas A2 y A3 constituyen el motor de la metodología 6σ mediante la aplicación del método científico a la mejora. En la etapa A2 se realiza el proceso “inductivo”, creando modelos, definiendo hipótesis o conjeturas a partir de los datos e informaciones obtenidas en la etapa Medir, los cuales se someterán a comprobación en la etapa A3 mediante el proceso “deductivo”.

El equipo 6σ hizo aplicación de la metodología del “Brainstorming²⁹” para realizar la generación de nuevas hipótesis.

²⁹ Tormenta de ideas.

Se elaboro una lista de posibles causas que pudieran tener influencia sobre el problema del desprendimiento de pintura, las cuales fueron agrupadas por categorías mediante un diagrama causa/efecto (Diagrama 3.1). Las causas que no eran aplicables o que resultaban muy remotas fueron eliminadas, identificando aquellas causas potenciales que eran mas probables para ser investigadas como hipótesis.

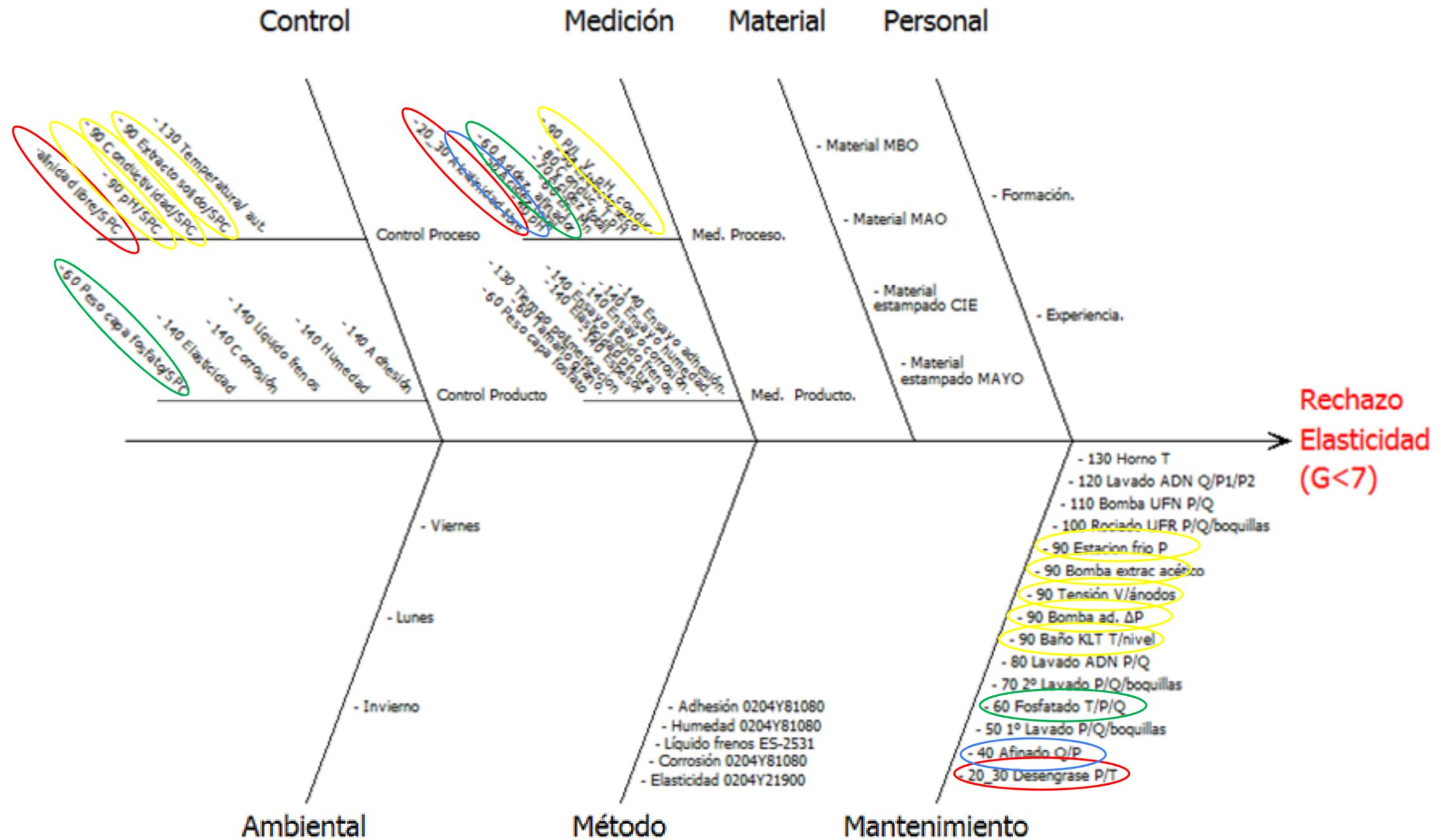


Diagrama 3.4: Diagrama Causa/ Efecto.

3.3.3.1 Influencia del desengrase en la adherencia de la pintura.

Hipótesis: La falta de desengrase fue tenida en cuenta en el análisis modal de fallo aplicado al proceso de pintura y transferida al plan de control (Figura 3.17).

The image shows two technical documents from UVIC. The top one is 'AMFE DE PROCESO' (Process FMEA) and the bottom one is 'CONTROL PLAN'. Both documents contain detailed process parameters and control points. A large blue 'CONFIDENCIAL' watermark is overlaid on the documents.

Figura 3.17: Documentación proceso.

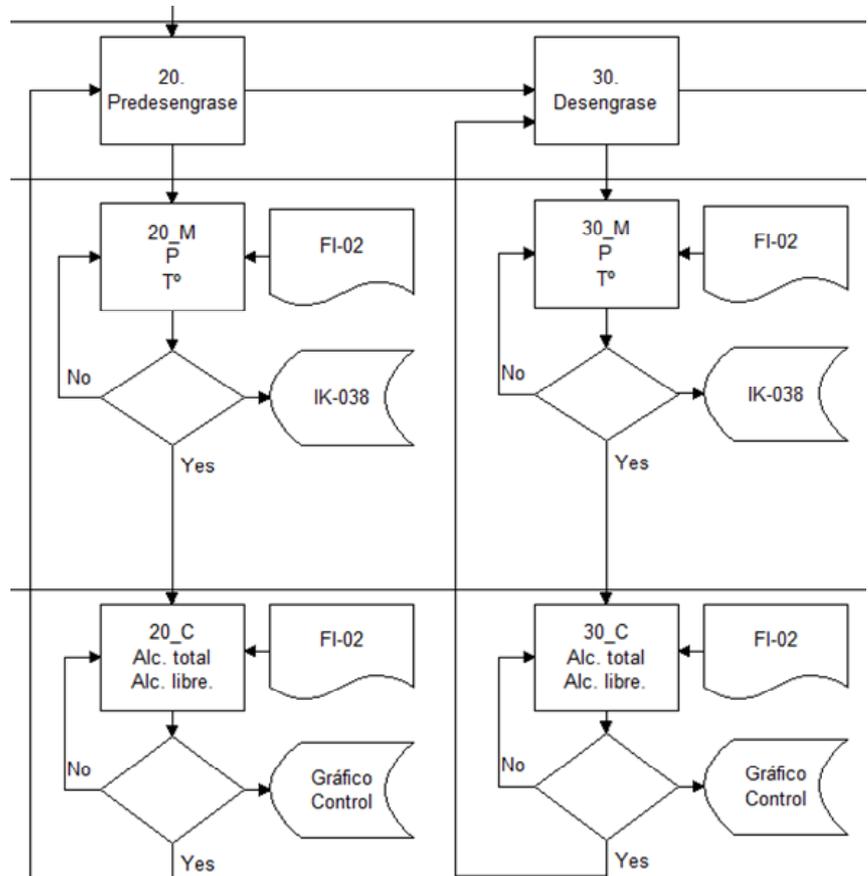


Diagrama 3.5: Fases desengrase.

Acción: La estabilidad de las fases de proceso del predesengrase fase_20 y de desengrase fase_30 (Diagrama 3.5), deben ser analizadas. Además, el control de registro referente a presión y temperaturas de ambos procesos debe ser también verificado.

3.3.3.2 Influencia de la concentración de afinador en el aumento de capa de fosfato.

Hipótesis: El aumento de capa de fosfato debida a la baja concentración del afinador fue tenida en cuenta en el análisis modal de fallo, transfiriéndose al plan de control del proceso (Figura 3.18).

AMFE DE PROCESO

Identificación	Proceso	Producto	Características	Riesgo	Control
...

CONTROL PLAN

Identificación	Proceso	Producto	Especificaciones	Control
...

Figura 3.18: Documentación proceso.

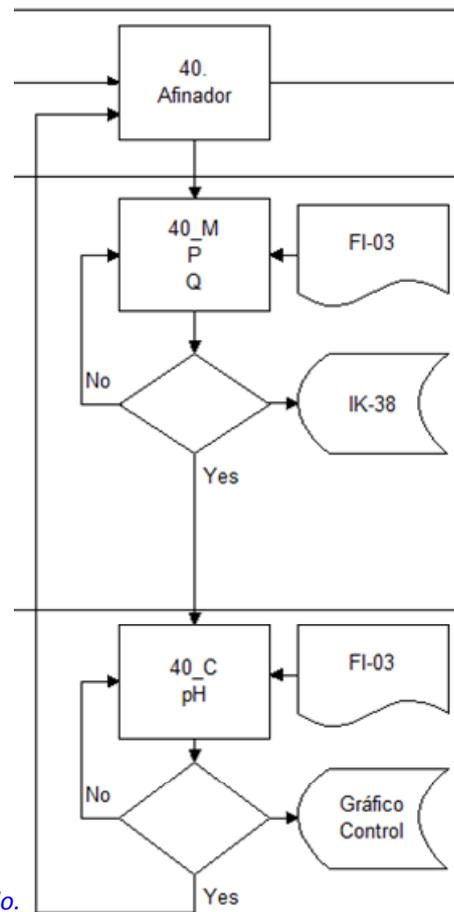


Diagrama 3.6: Fase afinado.

Acción: La estabilidad de la fase_40 del proceso de afinado debe ser analizada. El SPC del pH del baño y el seguimiento de los niveles de presión y caudal de la bomba dosificadora de deben ser verificados (Diagrama 3.6).

3.3.3.3 Influencia de la concentración de fosfato en las características mecánicas.

Hipótesis: El efecto que una gran concentración de fosfato provoca una disminución de las características mecánicas de la capa de pintura, fue tenida en cuenta en el análisis modal de fallo aplicado al proceso de pintura y transferido al plan de control (*Figura 3.19*).

Process	Product	Characteristics	Methods
01	Resin	Identification of material	Visual inspection
02	Resin	Identification of material	Visual inspection
03	Resin	Identification of material	Visual inspection
04	Resin	Identification of material	Visual inspection
05	Resin	Identification of material	Visual inspection
06	Resin	Identification of material	Visual inspection
07	Resin	Identification of material	Visual inspection
08	Resin	Identification of material	Visual inspection
09	Resin	Identification of material	Visual inspection
10	Resin	Identification of material	Visual inspection
11	Resin	Identification of material	Visual inspection
12	Resin	Identification of material	Visual inspection
13	Resin	Identification of material	Visual inspection
14	Resin	Identification of material	Visual inspection
15	Resin	Identification of material	Visual inspection
16	Resin	Identification of material	Visual inspection
17	Resin	Identification of material	Visual inspection
18	Resin	Identification of material	Visual inspection
19	Resin	Identification of material	Visual inspection
20	Resin	Identification of material	Visual inspection
21	Resin	Identification of material	Visual inspection
22	Resin	Identification of material	Visual inspection
23	Resin	Identification of material	Visual inspection
24	Resin	Identification of material	Visual inspection
25	Resin	Identification of material	Visual inspection
26	Resin	Identification of material	Visual inspection
27	Resin	Identification of material	Visual inspection
28	Resin	Identification of material	Visual inspection
29	Resin	Identification of material	Visual inspection
30	Resin	Identification of material	Visual inspection
31	Resin	Identification of material	Visual inspection
32	Resin	Identification of material	Visual inspection
33	Resin	Identification of material	Visual inspection
34	Resin	Identification of material	Visual inspection
35	Resin	Identification of material	Visual inspection
36	Resin	Identification of material	Visual inspection
37	Resin	Identification of material	Visual inspection
38	Resin	Identification of material	Visual inspection
39	Resin	Identification of material	Visual inspection
40	Resin	Identification of material	Visual inspection
41	Resin	Identification of material	Visual inspection
42	Resin	Identification of material	Visual inspection
43	Resin	Identification of material	Visual inspection
44	Resin	Identification of material	Visual inspection
45	Resin	Identification of material	Visual inspection
46	Resin	Identification of material	Visual inspection
47	Resin	Identification of material	Visual inspection
48	Resin	Identification of material	Visual inspection
49	Resin	Identification of material	Visual inspection
50	Resin	Identification of material	Visual inspection
51	Resin	Identification of material	Visual inspection
52	Resin	Identification of material	Visual inspection
53	Resin	Identification of material	Visual inspection
54	Resin	Identification of material	Visual inspection
55	Resin	Identification of material	Visual inspection
56	Resin	Identification of material	Visual inspection
57	Resin	Identification of material	Visual inspection
58	Resin	Identification of material	Visual inspection
59	Resin	Identification of material	Visual inspection
60	Resin	Identification of material	Visual inspection
61	Resin	Identification of material	Visual inspection
62	Resin	Identification of material	Visual inspection
63	Resin	Identification of material	Visual inspection
64	Resin	Identification of material	Visual inspection
65	Resin	Identification of material	Visual inspection
66	Resin	Identification of material	Visual inspection
67	Resin	Identification of material	Visual inspection
68	Resin	Identification of material	Visual inspection
69	Resin	Identification of material	Visual inspection
70	Resin	Identification of material	Visual inspection
71	Resin	Identification of material	Visual inspection
72	Resin	Identification of material	Visual inspection
73	Resin	Identification of material	Visual inspection
74	Resin	Identification of material	Visual inspection
75	Resin	Identification of material	Visual inspection
76	Resin	Identification of material	Visual inspection
77	Resin	Identification of material	Visual inspection
78	Resin	Identification of material	Visual inspection
79	Resin	Identification of material	Visual inspection
80	Resin	Identification of material	Visual inspection
81	Resin	Identification of material	Visual inspection
82	Resin	Identification of material	Visual inspection
83	Resin	Identification of material	Visual inspection
84	Resin	Identification of material	Visual inspection
85	Resin	Identification of material	Visual inspection
86	Resin	Identification of material	Visual inspection
87	Resin	Identification of material	Visual inspection
88	Resin	Identification of material	Visual inspection
89	Resin	Identification of material	Visual inspection
90	Resin	Identification of material	Visual inspection
91	Resin	Identification of material	Visual inspection
92	Resin	Identification of material	Visual inspection
93	Resin	Identification of material	Visual inspection
94	Resin	Identification of material	Visual inspection
95	Resin	Identification of material	Visual inspection
96	Resin	Identification of material	Visual inspection
97	Resin	Identification of material	Visual inspection
98	Resin	Identification of material	Visual inspection
99	Resin	Identification of material	Visual inspection
100	Resin	Identification of material	Visual inspection

Figura 3.19: Documentación proceso.

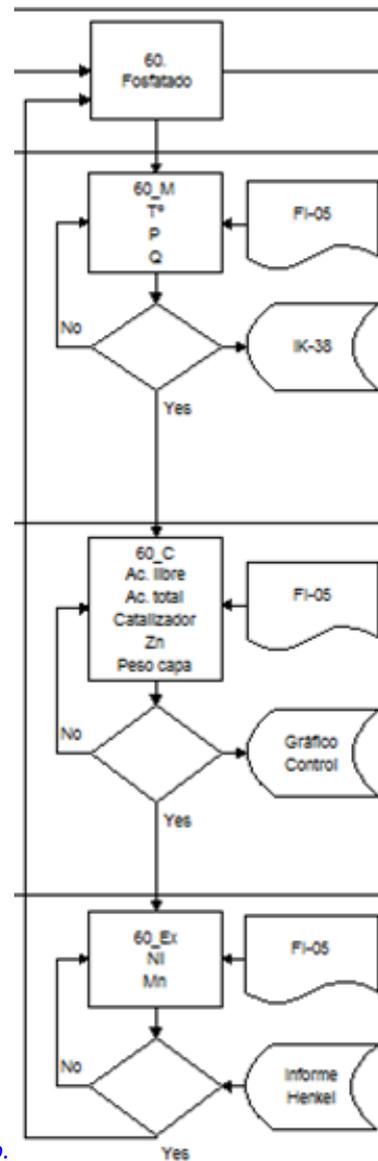


Diagrama 3.7: Fase fosfatado.

Acción: La estabilidad de la fase_60 del proceso de fosfatado debe ser analizada. El SPC de la alcalinidad libre/total, catalizador y Zn^{++} , así como el seguimiento de los parámetros de proceso de presión y caudal deben ser verificados. La estabilidad del producto referente al peso capa, también debería ser analizada (*Diagrama 3.7*)

3.3.3.4 Influencia del espesor de capa y la resistencia mecánica.

Hipótesis: El aumento en el espesor de capa de pintura produce una disminución de las características mecánicas, fue tenida en cuenta en el análisis modal de fallo aplicado al proceso de pintura y transferido al plan de control (*Figura 3.20*). Un aumento del espesor de la capa de pintura ocasiona que las fibras externas las alegadas de la fibra neutra, se encuentre sometidas a mayores tensiones durante la flexión producida en el proceso de rulinado.

Plan	Identificación	Método	Frecuencia	Características	Proceso	Producto	Especificación	Resultados												
01	Temperatura																			
02	Presión																			
03	Velocidad																			
04	Humedad																			
05	Viscosidad																			
06	Gravimetría																			
07	Control de calidad																			
08	Control de calidad																			
09	Control de calidad																			
10	Control de calidad																			
11	Control de calidad																			
12	Control de calidad																			
13	Control de calidad																			
14	Control de calidad																			
15	Control de calidad																			
16	Control de calidad																			
17	Control de calidad																			
18	Control de calidad																			
19	Control de calidad																			
20	Control de calidad																			

Figura 3.20: Documentación proceso.

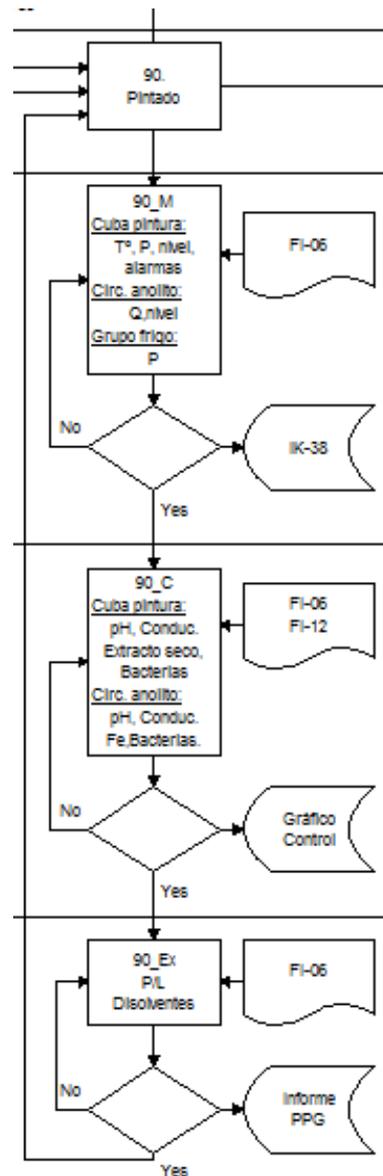


Diagrama 3.8: Fase pintura.

Acción: La estabilidad de la fase_90 del proceso de pintado debe ser analizada. El SPC de los parámetros: pH, conductividad, extracto seco, relación P/L y disolventes, así como los parámetros de proceso: temperatura, presión bomba retorno y presiones del grupo de frío, deberían ser analizados (*Diagrama 3.8*).

Hipòtesis: Un incremento de capa de pintura lo encontramos al aumentar la tensión eléctrica durante el proceso. Este efecto está contemplado en el análisis modal de fallo aplicado al proceso de pintura y transferido al plan de control (*Figura 3.21*). Además, durante el desarrollo de nuestro proyecto, se ha podido constatar la influencia de la tensión aplicada al proceso de pintado y el espesor de capa obtenido.

AMFE DE PROCESO		CONTROL PLAN	
10	Preparación	10	Preparación
11	Aplicación	11	Aplicación
12	Secado	12	Secado
13	Inspección	13	Inspección
14	Embalaje	14	Embalaje
15	Almacenamiento	15	Almacenamiento

CONFIDENCIAL

Figura 3.21: Documentación proceso.

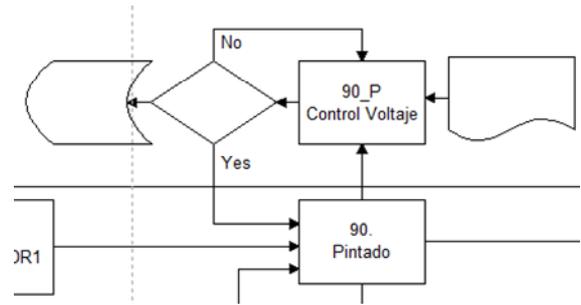


Diagrama 3.9: Fase control electrico.

Acción: Los registros pertenecientes a la fase_90, en referente a la tensión aplicada en el baño de pintura, deben ser revisados para analizar la estabilidad de la capa de pintura obtenida (*Diagrama 3.9*).

3.3.4 Verificación de hipótesis.

3.3.4.1 Análisis de proceso de desengrase P_20/ P_30.

Se realizó un análisis SPC sobre el parámetro crítico de proceso “alcalinidad libre” para las etapas de pre-desengrase y desengrase.

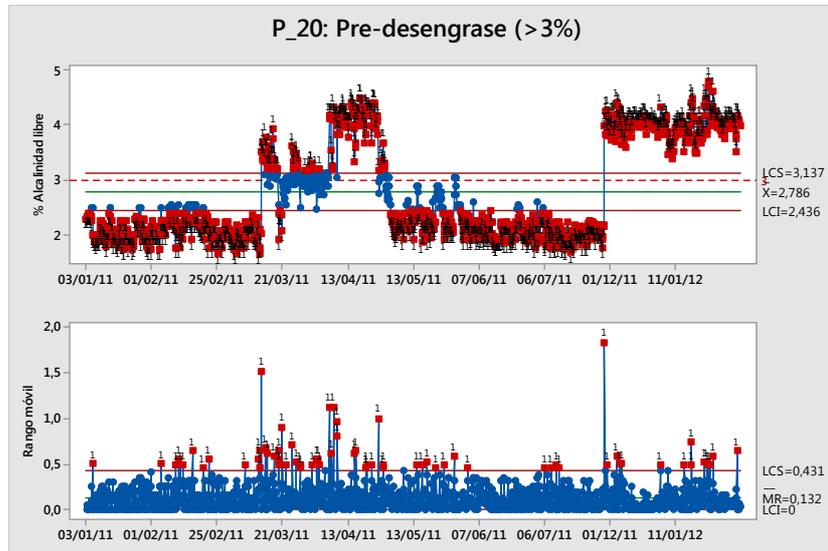


Grafico 3.21: SPC P_20 Alcalinidad Libre.

En referencia al pre-desengrase, el SPC (Grafico 3.21) muestra valores inferiores al 3%,; además. las alarmas no fueron tenidas en cuenta sobrepasando el parámetro de proceso los límites establecidos como puede verse en la evolución ampliada (Grafico 3.22).

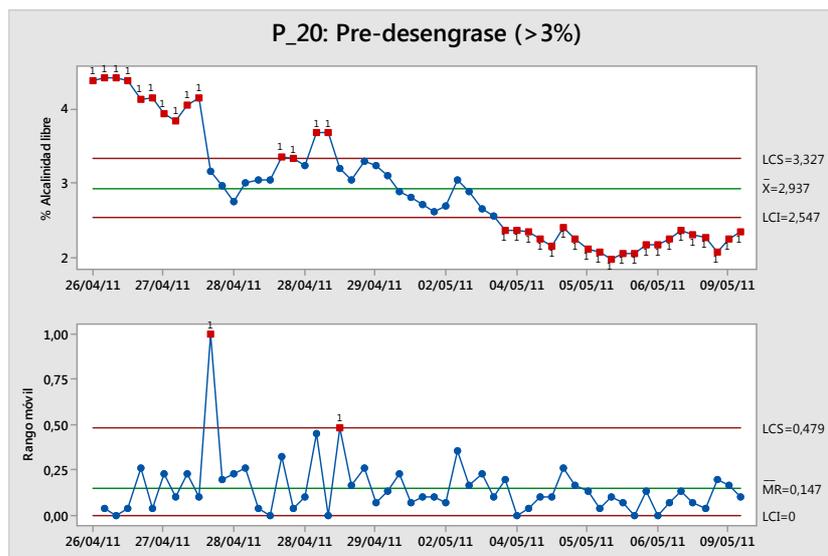


Grafico 3.22: SPC P_20 Ampliación Alcalinidad Libre.

En relación al proceso de desengrase, se muestran zonas continuas del SPC (*Grafico 3.23*) en las cuales el parámetro de “alcalinidad libre” está por debajo del límite de 1.6%.

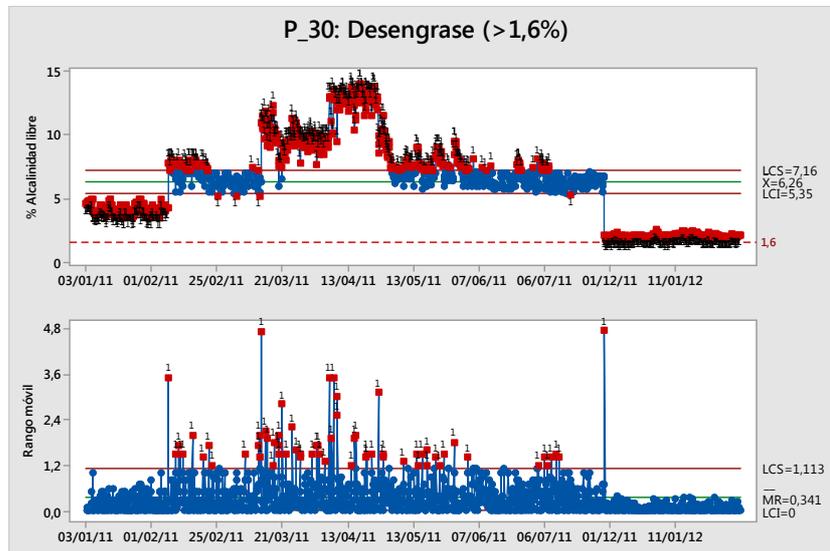


Grafico 3.23: SPC P_30 Alcalinidad Libre.

3.3.4.2 Análisis de proceso de afinado P_40.

Se realizo un análisis SPC del parámetro de proceso “pH”; los valores registrados están dentro de los limites de proceso definidos en el plan de control, aunque se observan tendencias que finalmente se aproximan a los límites admisibles de pH comprendidos entre 11 y 9,5 (*Grafico 3.24*).

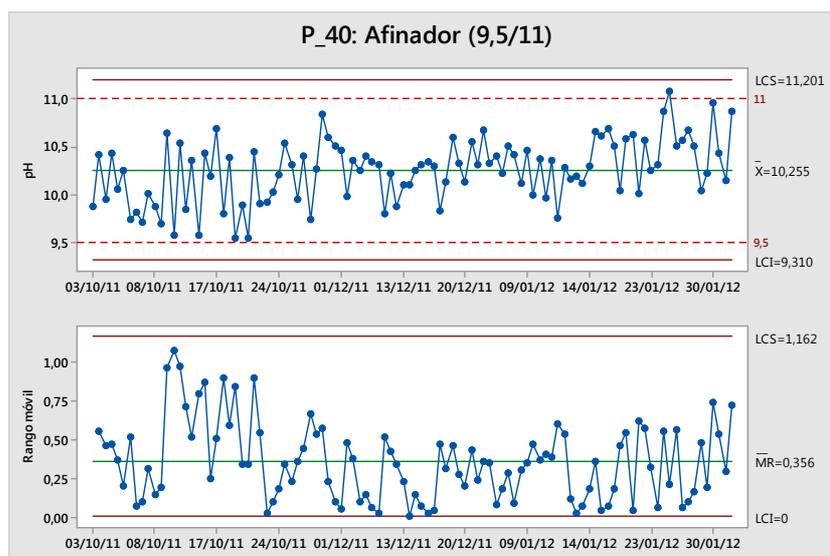


Grafico 3.24: SPC P_40 pH

3.3.4.3 Análisis de proceso de fosfatado P_60.

En relación al proceso de fosfatado, los parámetros de proceso: “acidez libre” (Grafico 3.25), “acidez total” (Grafico 3.26), “catalizador” (Grafico 3.27) y “cantidad de Zn⁺⁺” (Grafico 3.28) fueron analizadas.

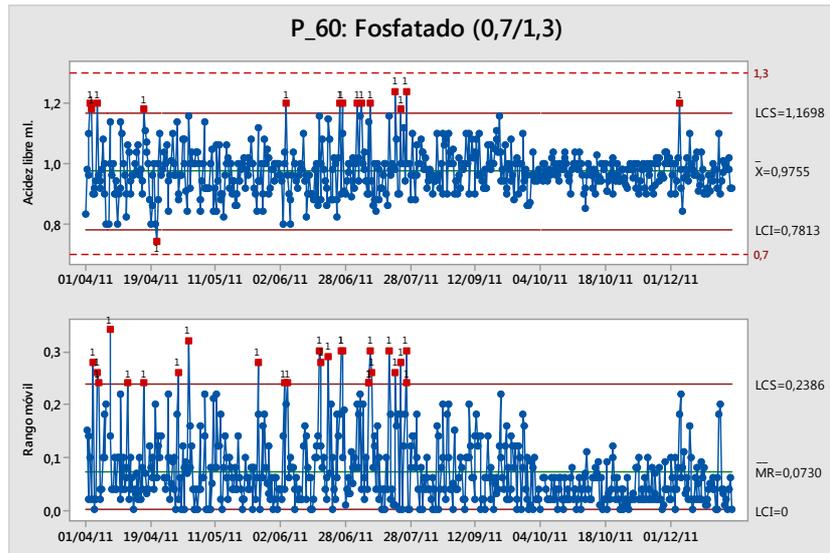


Grafico 3.25: SPC P_60 Acidez Libre

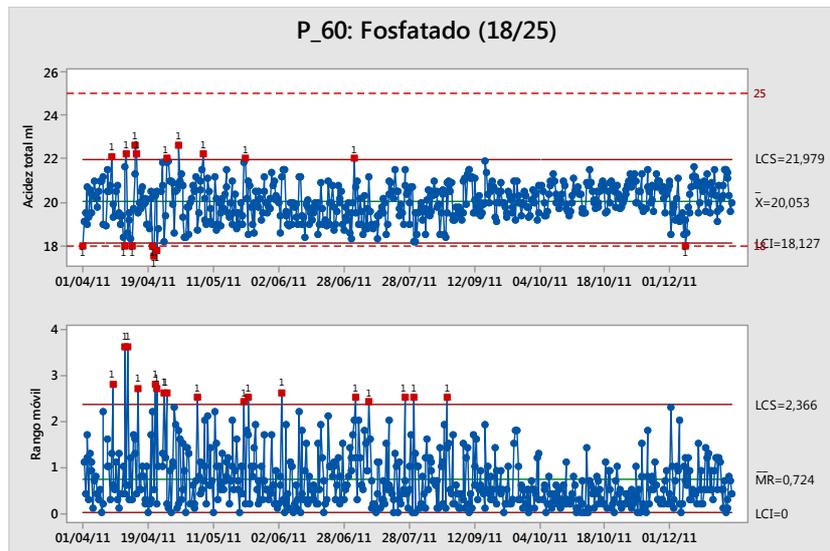


Grafico 3.26: SPC P_60 Acidez Total

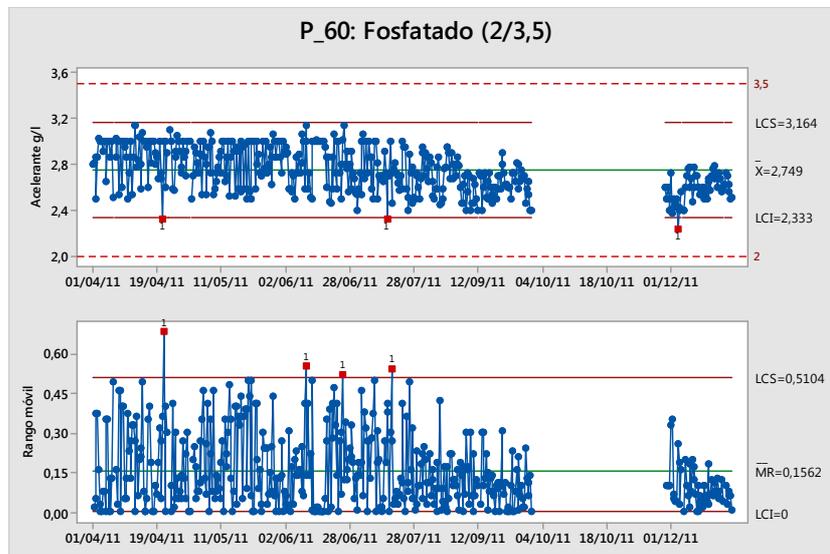


Grafico 3.27: SPC P_60 Catalizador

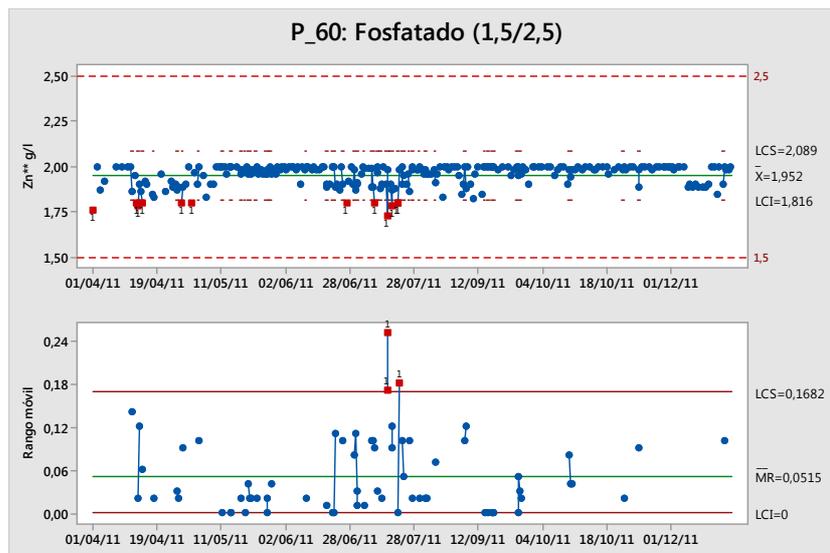


Grafico 3.28: SPC P_60 Zn**

Los parámetros de proceso están dentro de los valores definidos en el plan de control del proceso.

3.3.4.4 Análisis de proceso de pintura P_90.

Los registros del parámetro “extracto seco” fueron analizados mediante SPC (Grafico 3.29), obteniéndose los siguientes resultados:

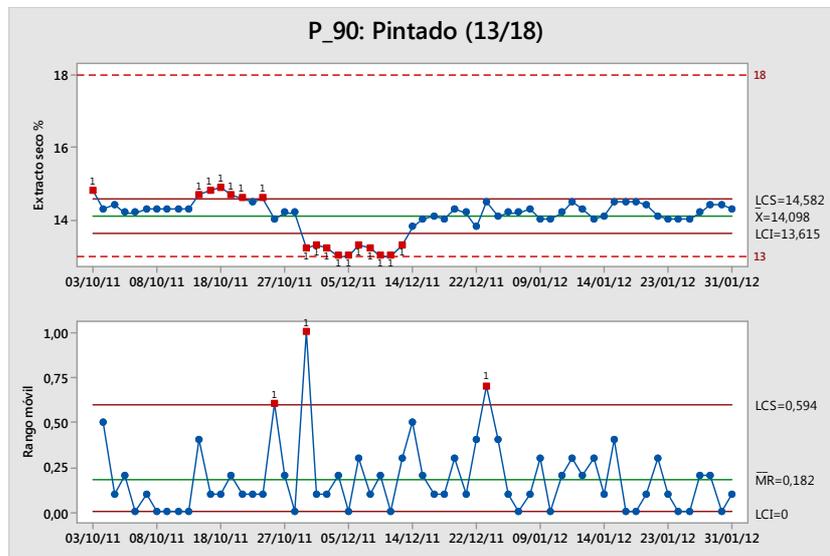


Grafico 3.29: SPC P_90 Extracto Seco

Aunque el parámetro de proceso evoluciona dentro de los límites de proceso determinados en el plan de control (18-13), se puede observar una tendencia que finalmente se aproxima al límite inferior máximo admitido.

Conclusión: El proveedor no realiza un control estadístico de los parámetros importantes de proceso, sino un grafico de evolución de valores individuales cuyos límites son los extremos de tolerancia, definidos en el Plan de Control; este tipo de grafico solamente nos da información de la evolución del parámetro de proceso en función del tiempo, pero no puede ser considerado como una herramienta de calidad predictiva la cual pueda ser utilizada para detectar las desviaciones del proceso. Con la utilización del SPC y en el caso de que se produjera un cambio no deseado en la media del proceso, los límites del SPC nos alertarían mucho antes que con la utilización de valores individuales. Podemos afirmar que el proceso en estudio, no está bajo control estadístico, incluso existen parámetros fuera de especificación de proceso.

3.4 Etapa: MEJORAR_I.

En esta etapa se decidieron los cambios de mejora que debían ser implantados, así como las responsabilidades y plan de acciones para llevarlos a cabo. En esta fase, la función del “Champion” como miembro de la dirección responsable del proyecto y como responsable del área donde estaba enmarcado el proyecto.

A nivel organizativo, el “Champion” puede colaborar en la generación de mejoras, pilota la selección de las mejoras y finalmente decide las pruebas piloto que se deben realizar, así como las mejoras que serán implantadas. El “Black Belt” lidera la generación de las mejoras, presentando estas y determinando sus ventajas e inconvenientes. Finalmente, el equipo 6 σ participa en la identificación y selección de las mejoras.

3.4.1 Propuesta de mejoras_I1.

En este primer paso y en base a las conclusiones obtenidas en la etapa Analizar, se realizaron las siguientes propuestas:

- Sustituir el actual **proceso de valoración** de la elasticidad de la pintura, por un proceso que sea independiente del evaluador.
- Definir una **nueva instrucción** para valorar la elasticidad de la pintura.
- Efectuar un **control estadístico de proceso** de los parámetros críticos del proceso de pintura.
- Definir **paquete estadístico** de control a utilizar por el proveedor.

3.4.2 Selección de propuestas de mejora_I2.

Para realizar la selección de propuestas se realizó un “Brainstorming” con el equipo de proyecto 6 σ moderado por el “Champion” y con la participación de expertos de I+D. El equipo de trabajo hizo uso de la matriz de esfuerzo-impacto a dos niveles, obteniéndose los siguientes resultados:

- Diseñar y validar un **nuevo sistema de valoración** de la elasticidad de la pintura mediante conductividad eléctrica.
Responsable: Dpto. Ingeniería Ensayos.
- Definir **nueva instrucción de valoración** elasticidad de la pintura.
Responsable: Dpto. Ingeniería I+D.
- Efectuar **seguimiento SPC** del parámetro de proceso “desengrase”.
Responsable: Dpto. Calidad Proveedor.
- Utilizar **paquete estadístico Minitab**.
Responsable: Dpto. Calidad Proveedor.

3.4.3 Evaluar riesgos_I3.

En este paso no solo se evaluó que las propuestas seleccionadas eran factibles, sino que se realizó un proceso de “lecciones aprendidas” para facilitar la implantación de las propuestas. Como resultado de la **revisión del P-FMEA**³⁰ del proceso de pintura se obtuvieron las siguientes conclusiones:

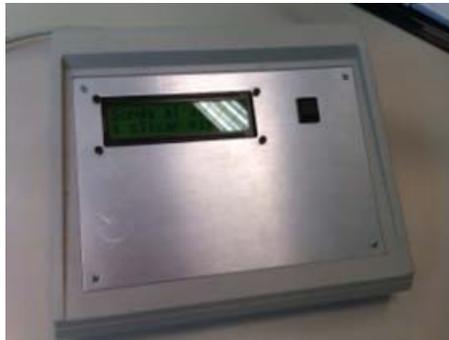
- La reducción de la variabilidad del parámetro proceso “desengrase”, reducirá la probabilidad de la “**ocurrencia**”.
- La mejora de valoración del producto no conforme, reducirá el valor de “**detección**”.
- Revalorar el apartado de salto de pintura con nuevo **RPN**³¹ = S x O x D

3.4.4 Prueba piloto_I3.

En este paso se intentó que las condiciones de la prueba fueran lo más parecidas al proceso real, asegurando que las mejoras seleccionadas eran factibles

3.4.4.1 Prueba piloto nuevo sistema de medicion_I3.

En referencia a la elaboración de un nuevo sistema de evaluación de la adhesión de la pintura, el departamento de Ingeniería y Desarrollos llevo a cabo la construcción de un prototipo (*Fotografía 3.18*).



Fotografía 3.18: Sistema medicion prototipo.

El sistema de valoración estaba basado en la conductividad eléctrica a través de la capa de pintura, redactándose una instrucción de utilización, así como la realización de un estudio de R&R del nuevo sistema de medida. Una vez comprobada la factibilidad del sistema de medición, se obtuvieron valores de R&R inferiores al 10%, con lo que el prototipo quedo validado.

³⁰ Process Failure Mode and Effect Analysis.

³¹ Risk Priority Number.

3.4.4.2 Prueba piloto implantación SPC_I3.

En referencia al seguimiento de los parámetros importantes de proceso, se realizó una prueba piloto referente al nivel de desengrase, actualizando el plan de control con el nuevo sistema de evaluación, instrucción, frecuencia de control y registros. Como resultado, se consigue mantener el parámetro de desengrase dentro de las alarmas del SPC, pudiendo afirmar que el proceso estaba bajo control.

3.4.5 Implementacion_I4.

En esta etapa, la función del equipo 6 σ no se trato tanto de implementar los cambios, como de asegurarse de que la implementación fue correctamente realizada.

3.4.5.1 Método de medida_I4.

En base al prototipo inicial del sistema de medida, se realizó la construcción final del sistema de medida (*Fotografía 3.19*).



Fotografía 3.19: Sistema medicion final.



Figura 3.22: Instruccion sistema medicion.

La construcción fue realizada por proveedor externo, realizándose la redacción de la instrucción para llevar a cabo el proceso de medición (*Figura 3.22*). Las formaciones del personal referentes a la utilización del equipo fueron realizadas, tanto en la planta productiva de cliente como en el proveedor que realiza el proceso de pintado.

3.4.5.2 Control SPC.

El proveedor adquirió la licencia de utilización del software estadístico Minitab® para realizar un control de los parámetros de proceso; la formación del personal para la utilización de dicho software fue realizada. El plan de control referente a la línea de pintura fue modificado y aceptado por cliente, realizando una revisión del P-FMEA.

3.5 Etapa: CONTROLAR_C.

La última fase corresponde al control, y su objetivo es no perder los logros realizados en las fases anteriores, es decir, mantener la estabilidad de los procesos y su capacidad a un nivel de calidad Seis Sigma.

Consideramos que un proceso es estable cuando la evolución de las variables definidas como claves se mantienen constantes en el tiempo, de forma que su comportamiento sea fácilmente predecible. Decimos que un proceso es capaz cuando cuando este se puede mantener dentro de las tolerancias en un intervalo de variabilidad admisible; así pues, se puede disponer de un proceso estable pero no capaz.

3.5.1 Estandarizar_C1.

Estandarizar puede tener varios sentidos, dependiendo del proceso sobre el que se haya actuado y por supuesto de la práctica habitual de cada organización. En cualquier caso, significa implantar las medidas de mejora incorporándolas a la organización. En las organizaciones en las que se dispone de un Sistema de Gestión de la Calidad, como por ejemplo la ISO 9001: 2008³², los cambios de mejora son incorporados al sistema de gestión.

En relación al método de medición, las siguientes acciones fueron definidas:

- Control del dispositivo de seguimiento y medición, según ISO/TS 16949:2009³³ ítem 7.6
 - a) Calibración y verificación a intervalos determinados.
 - b) Identificación para determinar el estado de calibración.
 - c) Protección contra desajustes que puedan invalidar la medida.
 - d) Protección contra daños durante su utilización y almacenaje.
 - e) Análisis del sistema de medición.
 - f) Registros del estado de calibración o revisión.

En referencia a la documentación del sistema de calidad:

- Plan de Control, según ISO/TS 16949:2009 ítem 7.5.1.1

3.5.2 Diseñar sistema de seguimiento_C2.

Para garantizar el buen funcionamiento de las mejoras introducidas es necesario diseñar un sistema de seguimiento que nos garantice su cumplimiento y permanencia a lo largo del tiempo; esto es especialmente importante cuando los cambios aplicados son reversibles, es decir, son cambios centrados en la manera de hacer las cosas.

³² International Organization for Standardization. Quality Management Systems.

³³ International Organization for Standardization. Technical Specification. Quality Management Systems.

La actividad de control se centra en comparar el rendimiento y funcionamiento del proceso con los objetivos definidos; esta actividad se lleva a cabo mediante las auditorias de proceso y el seguimiento de los indicadores.

En relación a las auditorias las siguientes acciones fueron definidas:

- Auditoria Proceso interna proveedor (1ª parte), según ISO/TS 16949:2009 ítem 8.2.2
- Auditoria Proceso cliente (2ª parte), según VDA³⁴ 6.3 ed.2ª

Referente a los indicadores de calidad de proveedor, fueron mantenidos los siguientes:

- Indicadores calidad proveedor, según ISO/TS 16949:2009 ítem 7.4.3.2
 - a) Número de reclamaciones.
 - b) ppm.
 - c) PLKz.

3.5.3 Valorar_C3.

En esta etapa, se valoraron las mejoras obtenidas en relación a los objetivos iniciales definidos en la etapa “MEDIR”.

3.5.3.1 Valoración resultados no financieros.

Una vez los parámetros críticos de proceso estuvieron bajo control estadístico, los valores de elasticidad medios obtenidos fueron de **8 puntos**. Se realizó una correlación entre los valores evaluados mediante el anterior catalogo de resultados y la actual valoración mediante conductividad eléctrica, de forma que los resultados obtenidos pudieran ser comparados.

Aunque el valor de elasticidad de **9 puntos** definido como punto de partida en la etapa “Medir” no ha sido conseguido, efectuaremos una valoración en conjunto de la mejora obtenida.

La cantidad de piezas rechazadas por defectos desprendimiento de pintura al inicio de nuestro proyecto era de 11.824 piezas, para las referencias de estudio 546 y 554 (**Grafico 3.30**).

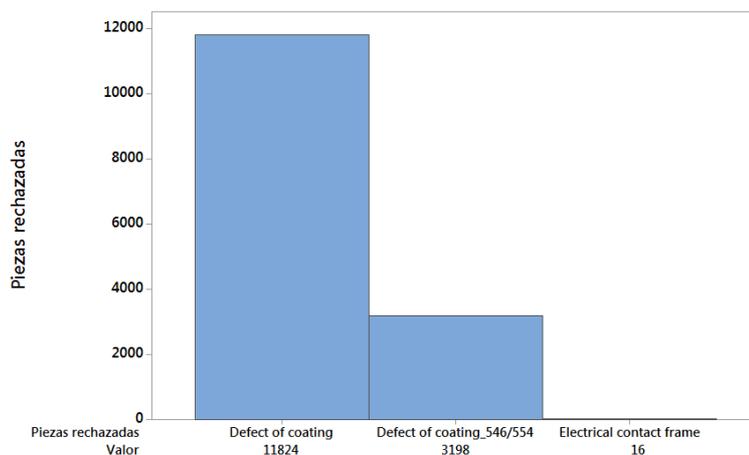


Grafico 3.30: Evolucion defecto pintura.

³⁴ Verband der Automobilindustrie e.V. Process Audit

Con el proceso bajo control, este defecto ha desaparecido, afectando positivamente al resto de referencias que se pintan en la misma línea. Por otro lado, debemos de resaltar los problemas de calidad por falta de contacto eléctrico con el bastidor, lo que ha supuesto un rechazo de 16 piezas en dos reclamaciones, de una producción de 305.000. Por otro lado, los problemas de contacto se presentan puntualmente y de forma distinta que los defectos de desprendimiento de pintura, en cuanto a las cantidades implicadas. El valor actual de ppm lo podemos estimar en aproximadamente **53 ppm**.

Aunque el valor objetivo definido en la etapa “Medir” era de **40 ppm**, este no ha sido conseguido, la introducción de la mejora ha sido positiva en el indicador de calidad.

En relación al indicador de calidad PLKz, las reclamaciones fueron detectas en dos lotes afectando a dos reclamaciones a nivel productivo, con una penalización de **8 PLKz**.

A pesar de que el actual nivel de PLKz cumple con los objetivos marcados inicialmente de **8 PLKz**, debemos considerar la reducción del mismo, debido su impacto sobre los paros de línea, ya que actualmente no se realiza un control a la recepción de dicho producto.

3.5.3.2 Valoración resultados financieros.

En ocasiones y especialmente en aquellos proyectos 6σ de mejora, que se centran en aumentar la satisfacción del cliente, resulta muy difícil hacer una valoración económica del proyecto. En estos casos se puede obviar la valoración de resultados financieros, aunque algunas empresas pueden tener definidos criterios para traducir el aumento de satisfacción del cliente en valor económico. Por otro lado, los costes de las actividades del “Black Belt” así como de su equipo, no deben ser incluidos.

Finalmente, reseñar que tanto los costes imputados al proveedor para mantener su proceso estable, como los gastos de parada de línea en cliente, se han mantenido de forma confidencial, efectuándose una valoración de beneficios de forma marginal, tal como se determino en la etapa “Definir”.

3.5.4 Cerrar_C4.

En esta etapa se realizo el cierre de proyecto documentando los resultados obtenidos, los cuales están mostrados resumidamente en el apartado 4. CONCLUSIONES. Estos resultados fueron presentados por el equipo de trabajo a la primera línea de la empresa, así como a los responsables de departamentos involucrados en las acciones de mejora.

Finalmente, se realizo una pequeña celebración del equipo de trabajo, como agradecimiento a su colaboración en el proyecto de mejora. Como herramienta motivadora de los empleados mas destacados que tomaron parte en el proyecto 6σ , estos fueron invitados a tomar parte en cursos de formación de forma que pudieran incrementar sus conocimientos para próximos proyectos.

4 CONCLUSIONES.

Sistema de valoración elasticidad pintura.

El método de valoración de la elasticidad de la pintura cataforesica, según la instrucción técnica 0204Y21900, no cumple los requerimientos definidos por el sector de la automoción. Este punto confirma la diferencia de resultados obtenidos entre cliente y proveedor en la evaluación del nivel de calidad del producto. El valor admisible de elasticidad debe de estar entre 10 y 7 puntos con una tolerancia para dicho intervalo de $\pm 1,5$ puntos, obteniendo un valor %GRR de 213,57 en proveedor y 164,99 en cliente. Para que el método de medida pudiera ser considerado capaz condicionalmente, este valor tendría que estar comprendido entre el 10% y el 30%, pudiéndose validar con valores inferiores al 10%; es decir, que la variabilidad del método de medida debería ser menor del 10% del intervalo de tolerancia.

En referencia al *análisis de los sistemas de medición*, de acuerdo con el sistema de calidad ISO/TS 16949:2009 en su apartado 7.6.1, la organización debe realizar estudios estadísticos para analizar la variación de los sistemas de medición y ensayo, utilizando los métodos analíticos y criterios de aceptación definidos por cliente.

En nuevo sistema de valoración de la elasticidad de la pintura mediante conductividad eléctrica, según la instrucción técnica 0204780537, presenta valores de %GRR inferiores al 10%.

Conocimientos adquiridos del proceso.

Se confirma que las piezas situadas en las posiciones inferiores del bastidor presentan los mayores espesores de capa, registrándose los valores más importantes en el área periférica de la pieza, sobre la cual se realiza el proceso de rulinado. Un aumento de la tensión eléctrica en el proceso de pintura produce un aumento de espesor de capa de pintura. Se confirma que un aumento de capa de pintura produce una disminución de los valores de elasticidad de la pintura. Este efecto podría ser consecuencia del incremento de tensiones por alejamiento de las fibras extremas durante el proceso de flexión.

Aunque la capa de fosfato depositado presenta diferente tipo de estructura, no se aprecia una influencia relevante del material base utilizado, acero limpio o galvanizado, sobre el comportamiento mecánico de la capa de pintura depositada.

Finalmente, se confirma que las condiciones ambientales de almacenaje y su tiempo de permanencia, no tienen influencia sobre los valores de elasticidad obtenidos.

Estabilidad y control del proceso.

El proveedor realizaba un control de los parámetros importantes de proceso mediante un gráfico de valores individuales, cuyos límites eran los extremos de tolerancia, definidos en el plan de control. Este tipo de gráfico solamente nos informa de la evolución del parámetro de proceso en función del tiempo, pero no puede ser utilizado como una herramienta de calidad predictiva para la detección de causas asignables que aparezcan durante el proceso.

Se confirmo que el proceso de desengrase P_20 y P_30 no estaba bajo control estadístico, presentándose situaciones en las cuales los parámetros de control sobrepasaban los límites de control determinados en el plan de control.

En referencia al *seguimiento y medición de los procesos*, de acuerdo con el sistema de calidad ISO/TS 16949:2009 en su apartado 8.2.3, la organización debe asegurar la estabilidad y capacidad de los procesos.

El proceso de desengrase fue sometido a un control estadístico de procesos SPC, definiendo los límites de intervención en función de su variabilidad, pudiendo regular los parámetros de proceso dentro de los límites aceptables. Se recomienda efectuar un DOE³⁵ sobre los parámetros críticos de proceso con objeto de mejorar la robusted del proceso.

Con el proceso de desengrase bajo control, los rechazos por elasticidad de la pintura fueron eliminados.

Resultados obtenidos.

Una vez que los parámetros de control del proceso estaban bajo control estadístico y el nuevo sistema de evaluación validado, los valores de elasticidad medios obtenidos fueron de 8 puntos, según la instrucción técnica 0204780537. Aunque el valor objetivo inicial era de 9 puntos, debemos de efectuar una valoración en conjunto de la mejora obtenida, cuyo resultado ha sido la eliminación de los defectos debido al desprendimiento de pintura.

Aunque los problemas de pintura han desaparecido del panel de defectos, el actual valor de piezas defectivas es de 53 ppm, debido a problema de contacto eléctrico en bastidores. Aunque nuestro valor objetivo de 40 ppm no ha sido conseguido, la introducción de las acciones ha mejorado positivamente nuestro indicador de calidad.

En relación al indicador de calidad PLKz, las reclamaciones por falta de contacto en bastidores fueron detectadas en dos lotes, afectando a dos reclamaciones a nivel productivo con una penalización de 8 PLKz. A pesar de que el actual nivel de PLKz cumple los objetivos definidos en nuestro proyecto, debemos considerar la reducción del mismo, debido al impacto que estos problemas tienen sobre los paros de línea.

En los proyectos de mejora 6σ de corta duración, los cuales se centran dar una respuesta rápida para aumentar la satisfacción del cliente y mejorar la imagen corporativa de la empresa, la valoración económica puede no ser relevante. De hecho, los costes de las actividades del "Black Belt" así como de su equipo de trabajo, no deben ser repercutidos en los gastos, a no ser que la empresa disponga de una partida específica para la realización de esta actividad. Por otro lado, debemos reseñar que en nuestro proyecto, tanto los costes imputados al proveedor para mantener su proceso estable como los gastos ocasionados al cliente, se han mantenido de forma confidencial, debiéndose efectuar una valoración de beneficios de forma marginal, tal como se determino en la etapa "Definir". Además, podemos afirmar que el objetivo económico debido a las mejoras introducidas en el proceso, ha afectado positivamente al resto de referencias pintadas en la línea productiva base de nuestro estudio, así como al incremento del conocimiento del proceso.

³⁵ Design of Experiments

Causa raiz del problema

En este estudio se han presentado las tres tipologías características de los problemas de calidad: El problema de **ocurrencia** el cual ha sido generado por un proceso cuyos parámetros críticos no estaban bajo control estadístico, como se ha demostrado con la aplicación de los gráficos de procesos.

La falta de **detección** producida por la utilización de un sistema de medición el cual no tenía la suficiente capacidad como para verificar los productos resultantes del proceso.

Finalmente, una **gestión** inadecuada del proyecto durante su etapa de planificación y desarrollo.

En referencia al proceso de *realización del producto*, de acuerdo con el sistema de calidad ISO/TS 16949:2009 en su apartado 7.1, la organización debe asegurar que se planifican y desarrollan los procesos necesarios para su realización. Además, como requerimiento del sector de la automoción los proveedores deben de hacer uso de la guía APQP³⁶ para llevar a cabo la planificación avanzada de la calidad del producto, donde están definidas las fases de validación de los sistemas de verificación y control, así como las pruebas de los procesos productivos.

Los resultados obtenidos de nuestro trabajo, nos indican como **causa raíz** del problema una deficiente ejecución durante la etapa de planificación y desarrollo del producto, siendo requerido un programa de *lecciones aprendidas*, así como una transversalización de acciones de mejora a otros procesos similares.

³⁶Advanced Product Quality Planning

5 BIBLIOGRAFIA³⁷

- Amat, O. (2005). *Costes de Calidad y de no Calidad*. Barcelona: Ediciones Gestion 2000.
- Asociación Española para la Calidad. (2007). *Control Estadístico del Proceso (S.P.C.)*. Madrid: AEC.
- Asociación Española para la Calidad. (2007). *Control Estadístico del Proceso (S.P.C.)*. Madrid: Asociación Española para la Calidad.
- Ayati, E. (2013). *Quantitative Cost of Quality Model in Manufacturing Supply Chain*. Montreal: Concordia University.
- Benito, R., Comasòlivas, M., & Suñe, M. (2015). *Guia per elaborar citacions bibliogràfiques en format APA*. Vic: Universitat de Vic.
- Besterfield, D. H. (2009). *Control de Calidad*. Mexico: Pearson.
- Bonfill, A., & Torres, C. (2013). *Competitividad e Innovación en la Empresa*. Vic: Universitat de Vic.
- Calle, M. L. (2012). *Estadística Industrial*. Vic: Universitat de Vic.
- Cuatrecasas, L. (2005). *Gestión Integral de la Calidad*. Barcelona: Ediciones Gestión 2000.
- Escalante, E. J. (2004). *Seis Sigma Metodología y Técnicas*. Mexico: Editorial Limusa.
- Garrote, T., & Bonfill, A. (2014). *Diseño, Planificación y Gestión de Sistemas Productivos y Logísticos*. Vic: Universitat de Vic.
- Grima, P., Almagro, L., & Tort-Martorell, X. (2004). *Estadística Práctica con MINITAB*. Madrid: Pearson Educación.
- Grima, P., Marco, L., Tort-Martorell, X., & Rodero, L. (2011). *Implantación de programas de mejora Seis Sigma*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Minitab Inc. (2000). *User's Guide: Data Analysis and Quality Tools*. Chicago: Minitab Inc.
- Molist, M. (2012). *Gestión de la Calidad*. Vic: Universitat de Vic.
- Oriol, A. (2005). *Costes de Calidad y de no Calidad*. Barcelona: Ediciones Gestión 2000.
- Pande, P. S., Neuman, R. P., & Cavanagh, R. R. (2002). *Las claves de Seis Sigma*. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España.
- Pérez i Quintana, A. (2014). *Gestión de la Empresa*. Vic: Universitat de Vic.
- Qualitäts Management Center. (2010). *Process Audit VDA6.3*. Berlin: VDA-QMC Publications.

³⁷ American Psychological Association (APA) 6^a ed.

Robert Bosch GmbH. (2010). *Machine and Process Capability*. Stuttgart: BOSCH.

Robert Bosch GmbH. (2012). *Capabilty of Measurement and Test Processes*. Stuttgart: BOSCH.

Robert Bosch GmbH. (2012). *Failure Mode and Effects Analysis*. Stuttgart: Robert Bosch GmbH.

Robert Bosch GmbH. (2012). *Statistical Process Control SPC*. Stuttgart: BOSCH.

Robert Bosch GmbH. (2014). *Problem Solving*. Stuttgart: BOSCH.

Villar, J. F., & Delgado, T. (2005). *Control Estadístico de los Procesos*. Madrid: FC Editorial.

6 ANEXOS.

AENOR: Norma UNE-EN ISO 2808:2007

Pinturas y barnices. Determinación del espesor de película (ISO 2808:2007)

Edición: 2007-12-12

<http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0040246#.VWGKMLz-WYQ>

AENOR: Norma UNE-EN ISO 2409:2013

Pinturas y barnices. Ensayo de corte por enrejado (ISO 2409:2013)

Edición: 2013-12-11

<http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0052301#.VWGNwVz-WYQ>

AENOR: Norma UNE-EN ISO 9227:2007

Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales. Ensayos de niebla salina (ISO 9227:2006)

Edición: 2007-06-13

<http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0039128#.VWGPllz-WYQ>

AENOR: Norma UNE-EN ISO 6270-1:2002

Pinturas y barnices. Determinación de la resistencia a la humedad. Parte 1: Condensación continua. (ISO 6270-1:1998)

Edición: 2002-04-30

<http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0026862#.VWGQXFz-WYQ>

AENOR: Norma UNE-EN ISO 13076:2013

Pinturas y barnices. Iluminación y procedimiento para las evaluaciones visuales de los recubrimientos. (ISO 13076:2012)

Edición: 2013-02-06

<http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0050676#.VWGUBlz-WYQ>

Robert Bosch GmbH: Standard 0204Y21891

OD Knurling. Pruduct Manufacturing Data Sheet.

Edición: 2012-03-01

Documentación Confidencial.

Robert Bosch GmbH: Standard 0204Y21900

Shell Painting. Elasticity Test Instruction.

Edición: 2010-18-10

Documentación Confidencial.

Robert Bosch GmbH: Standard 0204Y81063

Coatings Against Corrosion. General Requirements.

Edició: 2009-03-09

Documentación Confidencial.

Robert Bosch GmbH: Standard 0204780537

Paint cracks detection by conductivity method.

Edició: 2011-02-25

Documentación Confidencial.