



Universidad
Tecmilenio®



Calidad aeroespacial

SPC y capacidades
del proceso

Semana 7



¿Te has puesto a pensar si existirá algún proceso industrial que arroje dos o más productos exactamente iguales, que posean las mismas medidas, peso, forma de operación, color, densidad, entre otros aspectos? Difícilmente sucede, por más perfecto que sea el proceso de producción, debes estar consciente de que siempre existirá variabilidad; no existen los productos perfectos y no existen dos productos exactamente iguales, incluso si son producidos uno tras otro.

La estadística es una gran aliada que te permitirá monitorear y mantener bajo control los procesos de producción, y podrás asegurarte de estar produciendo dentro de unos límites permitidos o tolerancias especificadas por el cliente; debes saber que las tolerancias son relativas o, dependiendo del tipo de industria, pueden ser más o menos estrictas. ¿Crees que la industria aeroespacial posee tolerancias más o menos restrictivas que la industria automotriz? ¿Por qué?

Finalmente tenemos estas preguntas de reflexión sobre el tema:

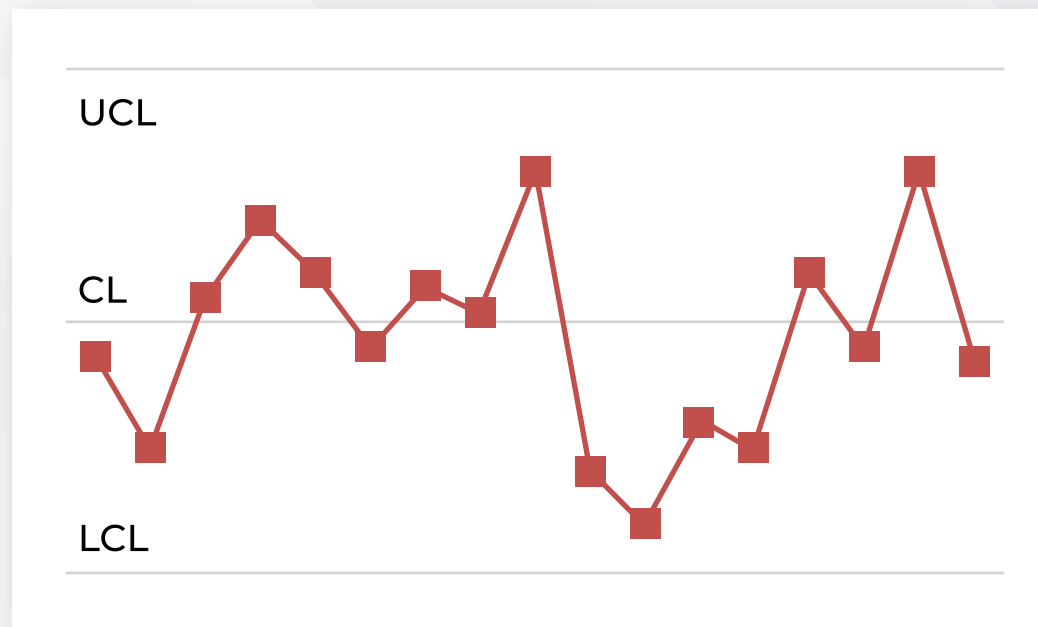
- ¿Conoces la diferencia entre variables y atributos?
- ¿Puedes enlistar todas las cartas de control que existen dentro de SPC?
- ¿Qué es un proceso capaz?



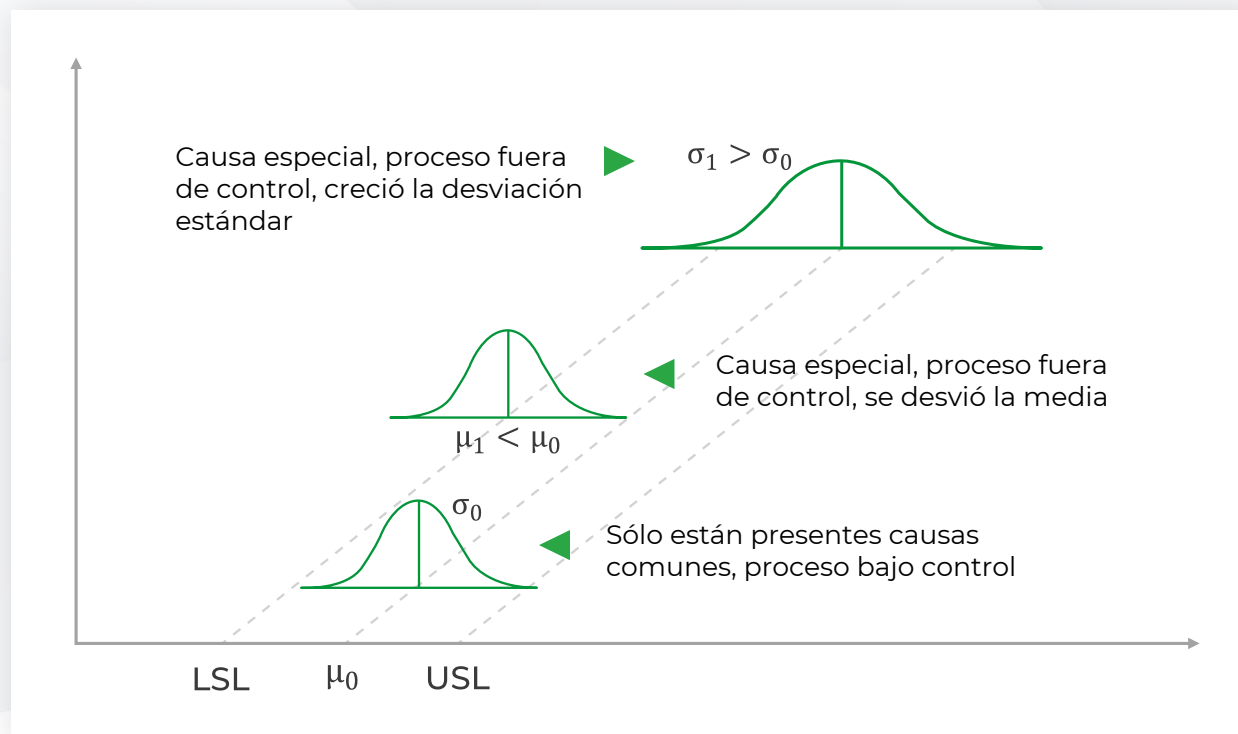
El control de un proceso comienza con la determinación del tipo de variables a considerar ¿Se puede medir con un instrumento de medición o se define con un criterio de aceptación de aceptación o rechazo?

Control Estadístico del Proceso (SPC)

Las cartas de control son las principales, pero no las únicas herramientas utilizadas por el Control Estadístico del Proceso (SPC); de forma muy general, una carta de control es una representación gráfica respecto al tiempo o al número de muestras, donde se grafican los promedios de la característica de calidad que se está monitoreando. Cuenta con una línea central (**CL**) que representa el valor deseado o nominal de la especificación y límites de control superior e inferior (**UCL**, **LCL**). A continuación se muestra una carta de control.



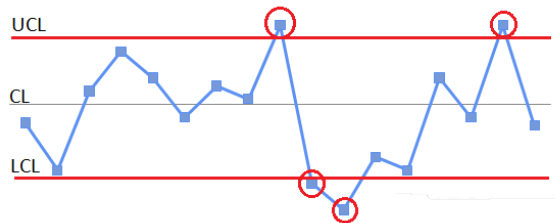
Todos los procesos están sometidos a cierta variabilidad de forma natural, la cual no afecta al desempeño del proceso y, por ende, la calidad del producto. A esta variación natural se le conoce como **causas naturales de variabilidad**, pero en ocasiones puede estar presente otro tipo de variabilidad que se origina por las **6M**. Esta variabilidad es grande en comparación con la variabilidad natural del proceso y provoca un desempeño inadecuado del proceso, conduciéndolo a producir fuera de especificación, es decir, con alta variabilidad y baja calidad en el resultado final; a estas fuentes de variabilidad no natural se les llama **causas asignables** y deben ser eliminadas del proceso para asegurar un desempeño acorde a los requerimientos del cliente.



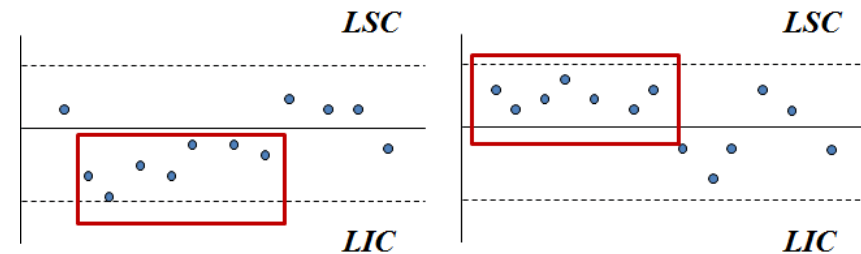
Control estadístico del Proceso (SPC)

Existen varios comportamientos anómalos en las cartas de control que indican la presencia de causas asignables que están haciendo operar al proceso fuera de control. A continuación se muestran los más comunes:

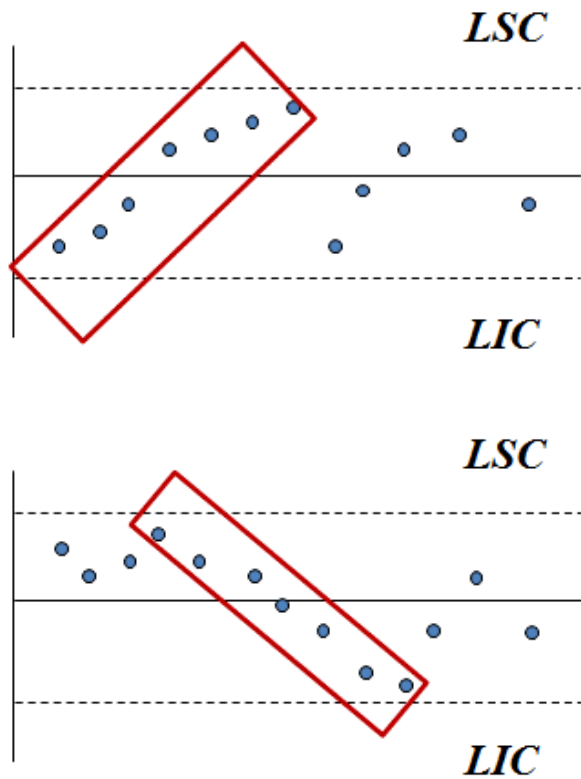
Puntos fuera de control



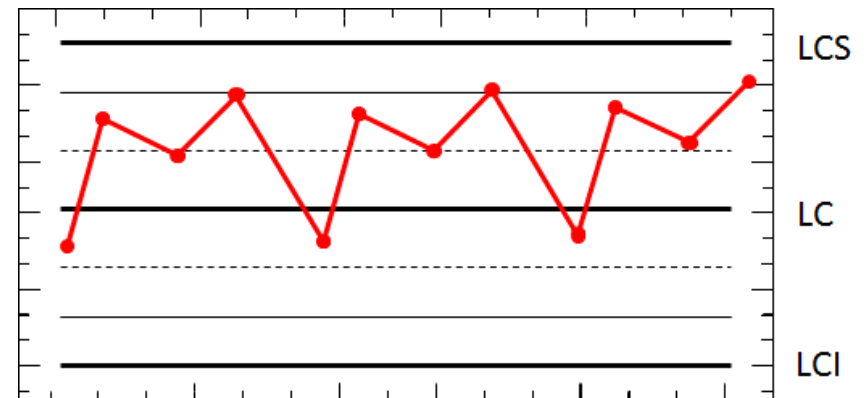
Corrimiento o corridas



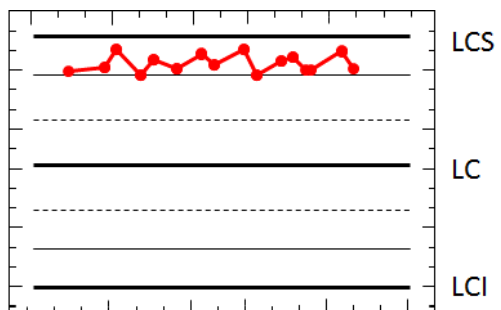
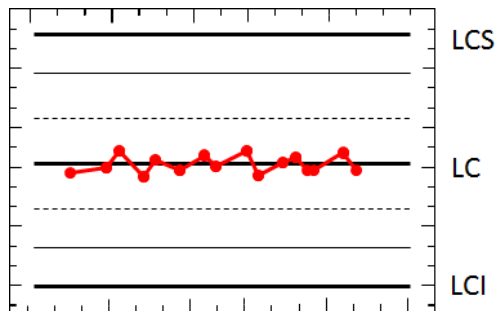
Tendencias



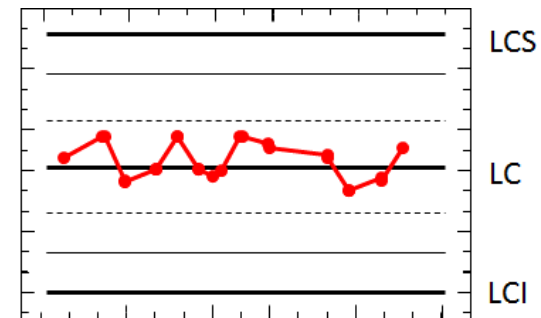
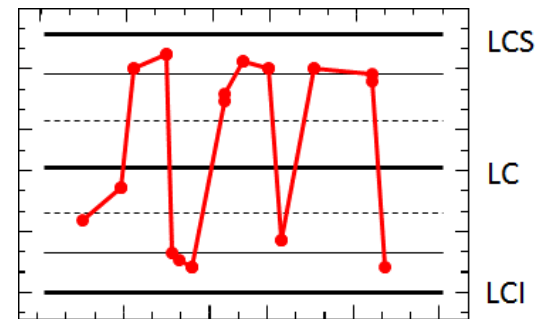
Comportamiento cíclico



Adherencia

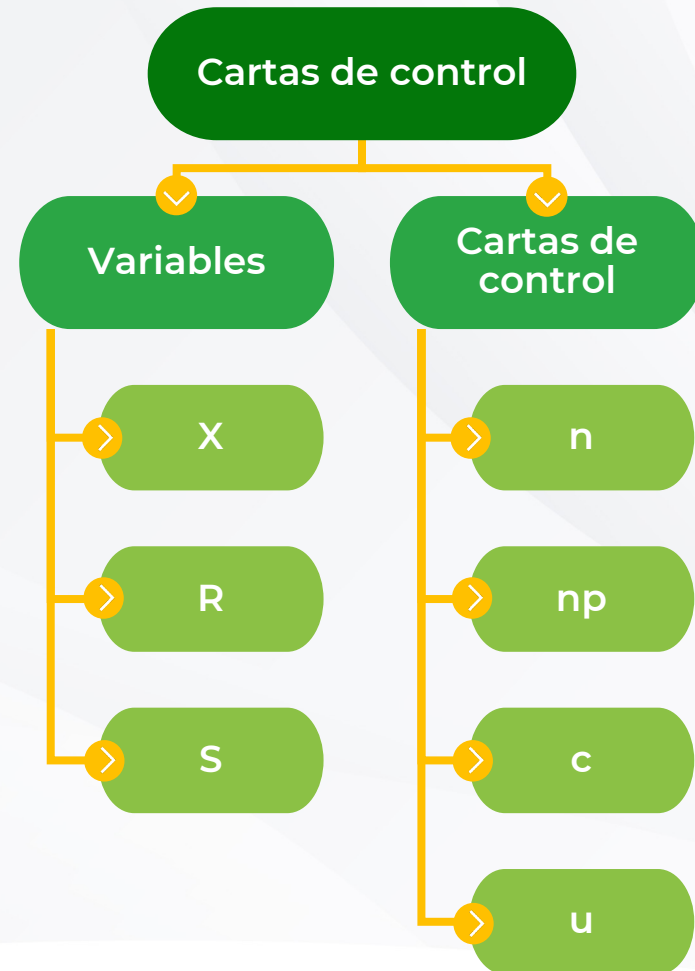


Mucha o poca variación



Control estadístico del Proceso (SPC)

Existen dos tipos de cartas de control para variables o para atributos. Para variables se refiere cuando la característica de calidad puede medirse y expresarse como un número en una escala de medición continua (voltaje, corriente, longitud, profundidad, distancia, presión, temperatura, etcétera). Para atributos se refiere cuando la característica de calidad no puede medirse en una escala cuantitativa, en cambio, solo pueden clasificarse como conforme o disconforme, es decir, “pasa” o “no pasa”. Para ambos tipos de características de calidad existen diferentes cartas; a continuación se presenta un diagrama con la clasificación:



Control estadístico del Proceso (SPC)

Ejemplo de gráfica de control por variable continua:

Muestra o subgrupo	Pesos			
1	50.2	49.9	49.0	50.1
2	50.3	50.2	50.0	49.3
3	49.8	50.0	50.0	49.7
4	50.0	49.4	50.1	50.5
5	50.2	49.8	49.1	49.9
6	49.2	50.7	49.1	49.8
7	49.6	49.9	49.5	49.9
8	50.2	49.8	49.5	50.6
9	50.1	49.3	49.0	49.3
10	50.8	49.6	49.8	50.4
11	50.7	48.8	49.7	50.1
12	50.3	49.6	49.4	49.3
13	49.3	49.3	49.2	50.5
14	50.2	50.5	50.2	50.9
15	48.8	50.2	49.5	49.6
16	50.9	49.5	49.3	49.9
17	49.7	48.8	49.6	49.5
18	49.4	49.3	49.4	50.2
19	49.9	49.7	49.9	49.1
20	49.7	49.2	49.4	49.7
21	50.6	49.6	49.6	49.9
22	49.9	49.9	50.0	49.7
23	49.6	50.2	49.9	48.7
24	49.6	48.9	50.2	49.0

Media	Rango
49.80	1.2
49.95	1.0
49.88	0.3
50.00	1.1
49.75	1.1
49.70	1.6
49.73	0.4
50.03	1.1
49.43	1.1
50.15	1.2
49.83	1.9
49.65	1.0
49.58	1.3
50.45	0.7
49.53	1.4
49.90	1.6
49.40	0.9
49.58	0.8
49.65	0.8
49.50	0.5
49.93	1.0
49.88	0.3
49.60	1.5
49.43	1.3
49.76	1.05

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 49.76 + (0.729)(1.05) = 50.526$$

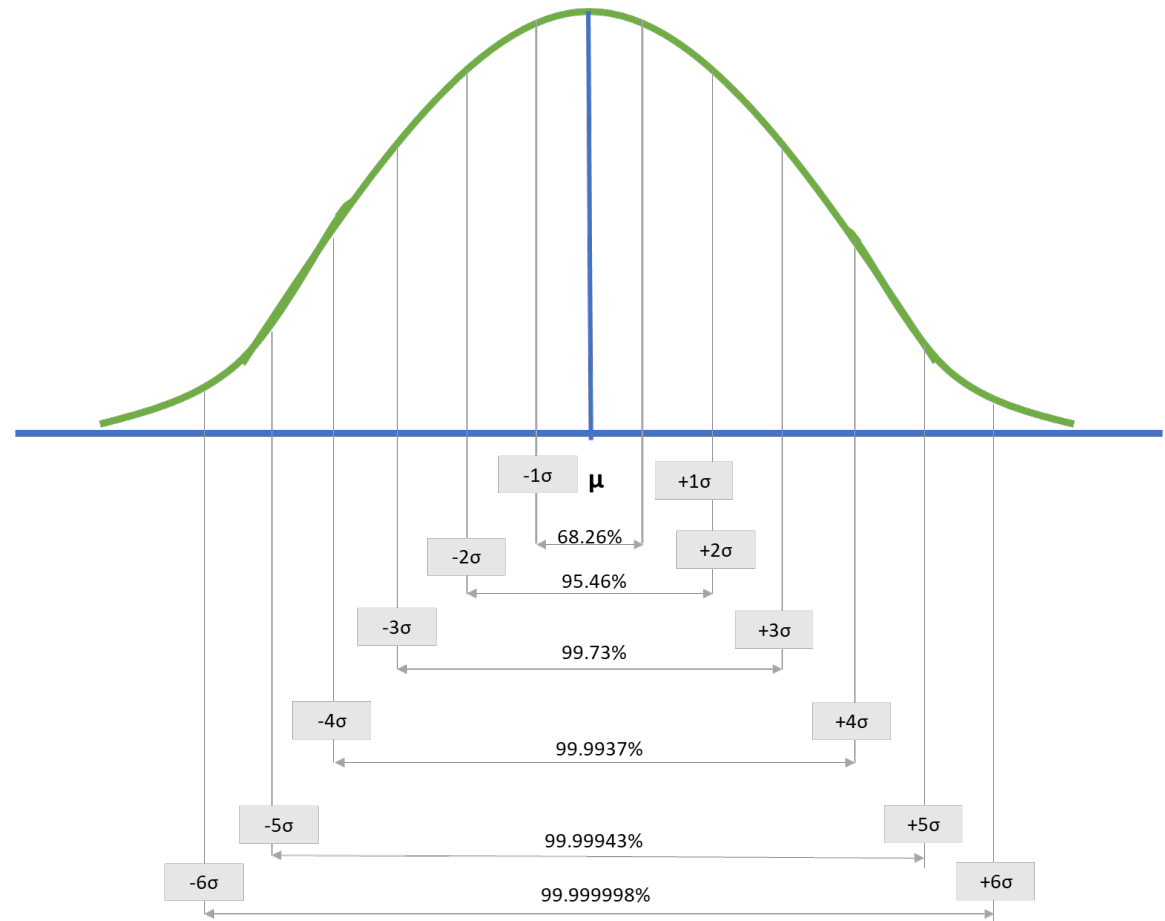
$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 49.76 - (0.729)(1.05) = 48.996$$

$$CL = \bar{\bar{X}} = 49.76$$



CP & CPK

Sabemos que el 99.73% de los datos obtenidos en un proceso con distribución normal se encuentra contenido en tres desviaciones estándar hacia la izquierda y derecha, respectivamente. A esto se le conoce como la tolerancia natural del proceso, tal como se muestra en la siguiente imagen:



CP & CPK

Los PPM (partes por millón) son un métrico comúnmente utilizado en la industria como una medida de la calidad del proceso, los PPM indican la cantidad de piezas defectuosas si se produjeran 1,000,000 de piezas. Su fórmula es:

$$PPM = \frac{\text{Piezas defectuosas}}{\text{Total de piezas}} * 1,000,000$$

Evaluar la capacidad del proceso nos permite conocer la amplitud de su variación natural o distribución para alguna característica de calidad particular. La capacidad del proceso da una idea de si dicha característica de calidad cumple con las especificaciones.

C_p se calcula suponiendo el proceso centrado.

$$C_p = \frac{\text{Límite superior} - \text{Límite inferior}}{6\sigma} = \frac{\text{Variación tolerada}}{\text{Variación real}}$$

Valor del índice C_p	Clase o categoría del proceso	Decisión si el proceso está centrado
$QR \geq 2$	Clase mundial	Se tiene calidad seis sigma.
$GR \geq 1.33$	1	Adecuado.
$1 \leq C_p \leq 1.33$	2	Parcialmente adecuado, requiere control estricto.
$0.67 \leq C_p < 1$	3	No adecuado. Se requieren modificaciones.
$C_p < 0.67$	4	No adecuado, Requiere modificaciones muy serias.

¿Qué pasa cuando la variación natural del proceso sí es menor que la variación tolerada, pero el proceso no se encuentra centrado?
No calculamos Cp, calculamos Cpk:

$$C_{pk} = \min \{C_{pu}, C_{pl}\}$$
$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right\}$$

Si los índices Cp y Cpk son iguales, es una indicación de que el proceso está centrado. Cpk mide la capacidad real del proceso, a diferencia de Cp, que mide la capacidad potencial.

Instrucciones

1. Compra una caja de picadientes, sácalos todos y distribúyelos de forma lineal sobre una mesa.
2. Toma 10 muestras que contengan 4 palillos cada una (toma las muestras en el orden en el que quedaron distribuidos los palillos sobre la mesa), une los 4 palillos mediante cinta adhesiva y ponle un número ascendente a cada muestra (del 1 al 10) para mantenerla identificada.
3. Mide su altura con un vernier.
4. Calcula el UCL, LSL y CL para una carta de control.
5. Grafica los promedios de las muestras en el orden en el que las fuiste tomando.



Las mediciones se hacen sobre el producto y sobre variables del proceso, todas ellas representan directa o indirectamente características críticas de calidad que deben ser controladas. Como aprendiste en este tema, todos los procesos están sujetos a variabilidad, la cual puede ser natural o provenir de fuentes asignables, las cartas de control ayudan a detectar cuando dichas causas asignables aparecen en el proceso y los índices de C_p y C_{pk} son una medida de la capacidad del proceso de producir dentro de los valores de tolerancia, uno sin tomar en cuenta la media del proceso, y el otro tomándola en cuenta.

Toda esta información te permitirá establecer mecanismos de control, monitoreo y corrección sobre cualquier proceso de manufactura, ya sea automotriz, aeroespacial o de cualquier otra naturaleza, asegurando así la calidad de los productos resultantes de dicho proceso.



Calidad aeroespacial

Inspección de primera
pieza (FAIs)

Semana 7



Imagínate que encargas a un proveedor producir cinco mil piezas de un diseño tuyo en un CNC, ¿te esperarías a recibir el lote de cinco mil piezas para asegurarte de que el proveedor siguió al pie de la letra los planos, dimensiones, especificaciones, etcétera?

Lo más probable es que le pidas unas piezas muestra al inicio de su producción masiva para verificar que el producto efectivamente cumple con tus expectativas y requerimientos.

Lo mismo sucede en la industria mundial a gran escala, existen diversos procedimientos para que los manufactureros sometan sus procesos a una aprobación del cliente de forma previa al inicio de la producción masiva. En la industria aeroespacial a este procedimiento se la llama Inspección de Primeros Artículos (FAI).

Finalmente, tenemos estas preguntas de reflexión sobre el tema:

- ¿Cuál será la importancia de documentar adecuadamente los requerimientos de un producto?
- ¿Cuál es la diferencia entre Full FAI y Delta FAI?
- ¿Cómo se llama el procedimiento de aprobación de primeras piezas en la industria automotriz?



La calidad empieza desde la primera pieza y busca la prevención y asegurar que todas las demás piezas cumplirán los estándares acordados.

Full FAI

La inspección de primeros artículos o primeras piezas FAI (*First Article Inspection*), se encuentra especificada en el estándar AS9102 del IAQG (*International Aerospace Quality Group*).

Dicho procedimiento de aprobación de primeras piezas forma parte del APQP/PPAP.

Típicamente, a los FAI se les conoce como un contrato entre la organización que manufactura el producto y el cliente que encarga la producción o diseño de las piezas. Parte del procedimiento es auditar o medir las siguientes características de los primeros artículos producidos y compararlas con respecto a las especificaciones del cliente:

Geometría

- Diámetros, distancias
- Profundidades, chaflanes
- Roscados, machuelos

Peso

- Densidad
- Rigidez

Color

- Tipo de pintura
- Grosor de la capa

Tratamientos térmicos

- Resistencia
- Tenacidad
- Dureza

Procesos químicos

- Corrosión
- Conductividad

Los FAI no necesariamente se deben ejecutar con las primeras piezas del proceso, basta con hacer una selección aleatoria de entre 5 y 100 piezas en algún lote y con eso se estará verificando la confiabilidad de las características de calidad que son requerimientos de aceptación por parte del cliente.

El Full FAI debe ser implementado para lo siguiente:

- **La introducción de un nuevo producto o modelo al proceso de producción.**
- **Cuando existe un nuevo proveedor de materiales para el producto en cuestión.**
- **Cuando los procesos de manufactura son relocalizados o transferidos a otra planta.**
- **A solicitud expresa del cliente.**

La norma aeroespacial AS9102 es la encargada de delinear los procedimientos y formatos de operación para la implementación de las FAI, la versión B es la que opera actualmente y fue lanzada en el 2014.

Según la norma, son tres formatos o pasos los que conforman la ejecución de una inspección de primeros artículos:

Form 1

Part Number Accountability

Form 2

Product Accountability

Form 3

Characteristic Accountability

Delta FAI

El Delta FAI es un procedimiento parcial que no requiere el llenado completo de los formatos y debe llevarse a cabo cuando:

1. **Hay un cambio en el diseño (cambio de ingeniería).**
2. **Hay modificaciones o actualizaciones en el proceso de producción:**
 - **Maquinaria.**
 - **Herramientas.**
 - **Procedimientos.**
 - **Secuencias de producción.**
 - **Actualización de número de parte.**
3. **Hay modificaciones a programas de control numérico, entre otros.**

El delta FAI o FAI parcial solo se lleva a cabo cuando previamente el producto tiene un Full FAI, y solo se requieren revisiones específicas para cambios ligeros en el producto o proceso. La aplicación periódica de Delta FAI puede ayudar a mejorar el proceso mediante un monitoreo constante de las características de calidad del producto. Implementarlo deja claro a todos los participantes del proceso cuáles son los requerimientos del producto fabricado que deben respetarse obligatoriamente, de acuerdo con las indicaciones en el plano.

Instrucciones

1. Diseña alguna pieza en algún software CAD que conozcas (SolidWorks, AutoCAD, Inventor, NX, CATIA, entre otros).
2. Genera el plano con todas las cotas, anotaciones, y medidas necesarias para poder fabricarla.
3. Llena los formatos FAI de acuerdo con las mediciones de la pieza construida.



El objetivo de la implementación de los FAI es generar documentación consistente para los requerimientos del producto. Con la ejecución de los FAI se genera evidencia objetiva, registrable y auditable sobre que el diseño de ingeniería y las especificaciones del producto fueron plenamente comprendidos por el proveedor (o fabricante del producto).

Existen FAI que deben llevarse de forma completa, y bajo ciertas circunstancias solo basta aplicar el procedimiento en una forma parcial para cambios menores, a lo que se le conoce como Delta FAI. El procedimiento FAI se encuentra estandarizado en el documento de la AIAG AS9102-B, y consta fundamentalmente de tres grandes pasos, cada uno documentado por un formato específico.

La relevancia de la inspección de primeros artículos es que garantiza la capacidad del proceso para producir bajo los requerimientos especificados. El FAI, de ser aprobado, otorga una autorización explícita del cliente para el comienzo de producción masiva, ya que representa la aprobación del proceso en su conjunto al haber sido capaz de producir piezas muestra que evidenciaron el cumplimiento total y de cada una de las características solicitadas por el cliente.



Calidad aeroespacial

Planeación avanzada
de calidad y producto (APQP)

Semana 7



¿Cómo crees que los ensambladores automotrices norteamericanos como Ford, Chrysler y GM reaccionaron ante el crecimiento exponencial de Toyota? Estas empresas pertenecientes al ramo automotriz comparten cierto nivel de información e implementación de mejoras prácticas en pro del aseguramiento y crecimiento de calidad y seguridad en la industria automotriz, pero finalmente no dejan de ser empresas que compiten en el mismo ramo, y cada una de ellas trata de defender y fortalecer su cuota de mercado. Fue así como las empresas norteamericanas crearon en 1982 el Automotive Industry Action Group (AIAG) con el objetivo de competir contra la industria automotriz japonesa.

Una de las primeras aportaciones del AIAG fue el diseño y establecimiento de una metodología bien definida y estructurada que permitiera a los prestadores de servicios y a las empresas de manufactura de productos asegurar el cumplimiento de los requerimientos del cliente, desde el primer eslabón de la cadena de suministro hasta el cliente final. A esta metodología se le nombró Planeación Avanzada de la Calidad del Producto (APQP) y fue concebida como una respuesta al TPS

Actualmente, la metodología APQP no solo se utiliza en la industria automotriz, debido a sus resultados exitosos se emplea en un sinnúmero de tipos de industrias y servicios, y la industria aeroespacial no está exenta de la aplicación de APQP.

Finalmente, tenemos estas preguntas de reflexión sobre el tema:

- ¿Qué fases incluye la metodología APQP?
- ¿Cuáles son las funciones actuales de la AIAG?
- ¿Qué otras metodologías similares al APQP se han desarrollado en la industria?



TPS vs. AIAG cultura de calidad contra normatividad americana de calidad.

Descripción de la metodología

La Planeación Avanzada de la Calidad del Producto (APQP, por sus siglas en inglés) forma parte de las herramientas llamadas core tools diseñadas por la AIAG para la estandarización de procesos en la industria automotriz, pero que han resultado tan exitosas que su uso se extiende hacia otro tipo de industrias como la aeroespacial. Se puede decir que la herramienta APQP es la columna vertebral dentro de las core tools, y que a lo largo de su procedimiento va utilizando o llamando al resto de las herramientas como Control Estadístico de la calidad (SPC), Plan de Control, Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF), Análisis del Sistema de Medición (MSA), y Partes de Producción para la Aprobación del Proceso (PPAP).

Section7: Product Realization

- 7.1 Planning of product realization
- 7.2 Customer-Related process
- 7.3 Design and development
- 7.4 Purchasing
- 7.5 Production and service provision
- 7.6 Control of monitoring and measuring devices

Etapas del APQP

El APQP es una metodología que permite gestionar de manera eficiente el diseño y producción de algún producto o servicio para obtener resultados satisfactorios de acuerdo con los requerimientos del cliente, y cuenta con cinco etapas de desarrollo que se muestran a continuación:

- **Planeación y definición del programa**

- Voz del cliente. Es enlistar cada una de las características específicas que el cliente desea obtener en su producto o servicio.
- Características técnicas de la funcionalidad del producto o proceso.
- Características del proceso productivo, conocer los requerimientos del proceso de producción o prestación del servicio, teniendo en cuenta las herramientas, maquinaria e insumos.
- Características de operación a lo largo de la vida útil del producto, los diseños de productos y procesos.

- **Diseño y desarrollo del producto**

En esta etapa se verifica la fiabilidad del proceso de diseño y, por lo tanto, el correcto cumplimiento de los requerimientos especificados por el cliente, las herramientas que se utilizan en esta etapa son los AMEF tanto de diseño como de producto.

- **Diseño y desarrollo del proceso**

En esta etapa se establecen las características del proceso de producción, es decir, se le da orden y estructura a todo el proceso de manufactura o de prestación del servicio. Aquí es donde se diseñan diagramas de flujo y se establecen los planes de control.

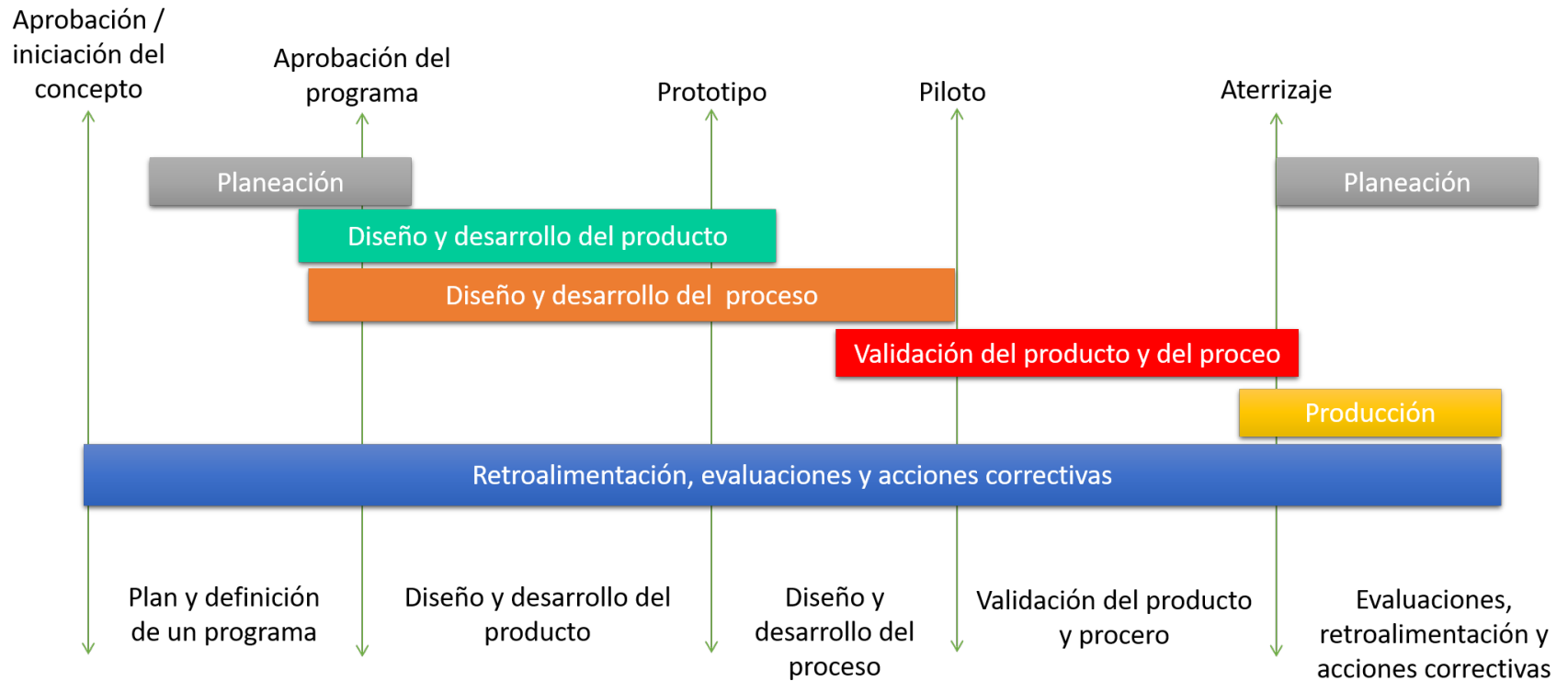
- **Validación del producto o proceso**

En esta etapa se llevan a cabo los FAI o PPAP, una vez que el proceso de producción es capaz de producir las primeras piezas funcionales, estas son sometidas a la aprobación del cliente. Dentro de las aprobaciones del proceso, el cliente toma en cuenta datos como las capacidades del proceso (C_p y C_{pk}), *run rates*, el análisis a los sistemas de medición (MSA) y planes de control.

- **Retroalimentación, evaluación y acciones correctivas**

Es la última etapa y se le conoce como el lanzamiento del producto. Comienza la producción masiva y empiezan a operar los sistemas de control de calidad como SPC para reducir la variabilidad del proceso y mantener siempre una mejora continua (Kaizen).



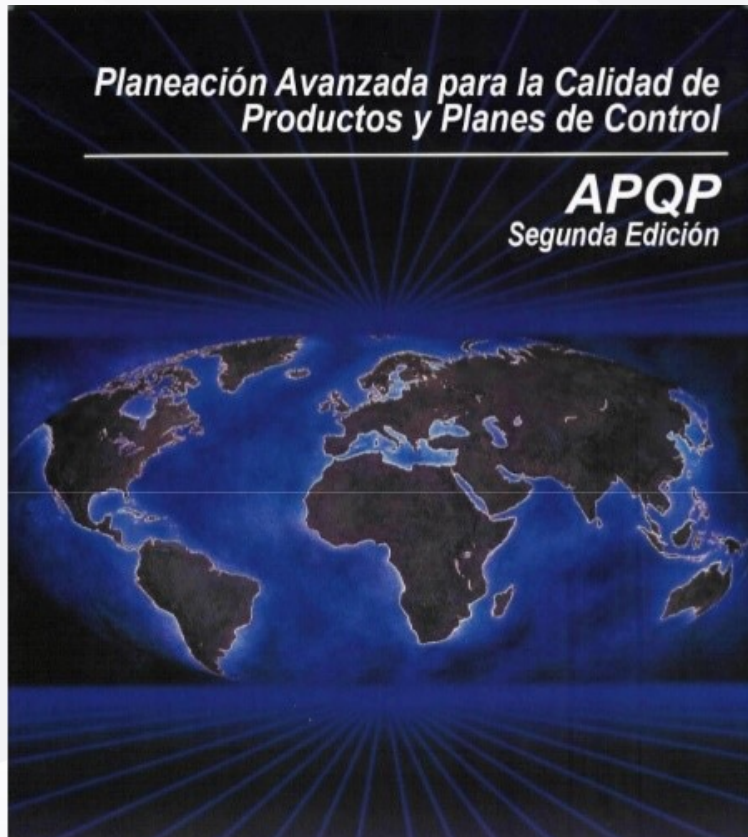


Manual APQ

La AIAG creadora de la metodología APQP es la encargada de difundir el manual de operación de esta y las demás herramientas (core tools). Actualmente opera la quinta edición de dicho manual.

La estructura del manual es la siguiente:

- Fundamentos de APQP.
- Capítulo 1: Planeación y definición de un programa.
- Capítulo 2: Diseño y desarrollo del producto.
- Capítulo 3: Diseño y desarrollo del proceso.
- Capítulo 4: Validación del producto y del proceso.
- Capítulo 5: Retroalimentación, evaluaciones y acciones correctivas.
- Capítulo 6: Metodología de planes de control.
- Apéndice A: Checklists para planeaciones de calidad de productos.
- Apéndice B: Técnicas analíticas.
- Apéndice C: Materiales de referencia.
- Apéndice D: Compromiso de factibilidad del equipo.
- Apéndice E: Resumen y aprobaciones de una planeación de calidad de un producto.
- Apéndice F: Glosario.
- Apéndice G: Índice.



Instrucciones

1. Investiga qué son y para qué sirven los respiraderos en las ventanas de los aviones.
2. De acuerdo con tu investigación, establece de forma general las cinco etapas APQP que se debieron de haber seguido para asegurar la presencia de los respiraderos como una característica de cliente.



Todas las organizaciones de manufactura y servicios a lo largo del mundo tienen como objetivo diseñar procesos, productos y servicios de calidad, que sean capaces de cubrir o exceder las expectativas del cliente, pero ¿cómo lograrlo? Precisamente, la AIAG, a través de su metodología APQP, ofrece recomendaciones y lineamientos para que el diseño del producto y del proceso alcance el objetivo de cubrir correctamente las especificaciones del cliente.

Aunque la metodología APQP surge en la industria automotriz, hoy en día es ampliamente difundida dentro de los procesos aeroespaciales, como una manera eficaz de alcanzar objetivos desde las etapas de diseño, para que, una vez llegado el punto de producción masiva, se tengan aseguradas todas las características dentro de un marco regulatorio que permita finalmente satisfacer de forma adecuada las necesidades del cliente.

