

## Implementación efectiva de un control avanzado de proceso (An effective implementation of an advanced process control)

**Cruz, J.**

UANL, San Nicolas de los Garza, N.L., Mexico, [jesusphd@prodigy.net.mx](mailto:jesusphd@prodigy.net.mx)

**Key words:** Advanced control of processes, control capacity, process control, stadistics of quality

**Resumen.** The aim of this work is to focus on the different methods of calculating the control processes based on the international guidelines for automobile industry. Different alternative methods to achieve an effective control processes which works as an proactive mechanism of advanced control of processes with a predictive rather than preventive values are discussed.

**Palabras claves:** Capacidad de proceso, control avanzado de proceso, control estadístico de la calidad, control de proceso

**Resumen.** El presente artículo de investigación se enfoca a explicar los diferentes medios de cálculo para el control de proceso acorde a los lineamientos internacionales de la industria automotriz. Durante la exposición de ideas se discutirán diferentes alternativas para lograr un efectivo control de proceso que logre funcionar como un mecanismo proactivo de control avanzado de proceso en el cuál la posibilidad de no conformes resulte una cuestión predictiva y no preventiva.

### Introducción

Inicié mis labores en la industria como supervisor de producción y recuerdo que los retos que la gerencia de manufactura establecía eran dos, el primero se basaba en la cantidad de piezas producidas por hora-hombre, y la segunda era el control del personal. Poco tiempo después me incorporé a otra empresa como Ingeniero de Calidad, Ingeniero de proveedores y Coordinador de calidad, me dediqué a la implementación de sistemas de calidad ISO 9000, QS 9000 y TS 16949. He participado como consultor en calidad y productividad entre otras ocupaciones, sin embargo en mi vida profesional he escuchado a los gerentes y directores de las áreas de calidad y manufactura el mismo cuestionamiento ¿Cómo lograr controlar el proceso? y aunque este cuestionamiento no es nuevo y se ha escrito mucho acerca de esto el tema no se ha agotado y la necesidad sigue en pie.

Algunas de las interrogantes más comunes son: ¿Por qué el SPC no funciona correctamente? ¿Por qué el SPC no lo dominan los ingenieros? ¿La máquina se controla automáticamente con sus parámetros, para qué llevar gráficas de control o algo adicional? Durante el desarrollo del artículo daremos respuesta a cada uno de estos cuestionamientos.

Este artículo se dividirá en tres secciones, la primera revisará los requerimientos internacionales de la industria automotriz para implantar un sistema de control de proceso. La segunda sección abordará el aspecto técnico de la selección de los métodos de control estadístico apropiados y los procedimientos de cálculo, mientras que la tercera sección revisará el aspecto estratégico de la implementación del control estadístico de proceso, a fin de poder establecer el control avanzado de proceso.

### **Requerimientos internacionales**

El uso de técnicas estadísticas en la industria automotriz usadas para la medición, análisis y mejora se encuentran segmentadas en dos grandes grupos: 1) requerimientos normativos internacionales, y 2) requerimientos específicos del cliente.

#### **Requerimientos normativos internacionales.**

La norma internacional ISO/TS 16949 (ISO, 2002) establece criterios internacionales para la medición, análisis y mejoramiento continuo, siendo los principales elementos: 1) demostración de la conformidad del producto, 2) demostración de la conformidad del sistema de calidad, y 3) mejoramiento continuo de la efectividad del sistema de calidad. Para lograr estos tres objetivos la norma establece que se debe identificar la necesidad de uso de las herramientas estadísticas necesarias, además de conocer los conceptos estadísticos básicos tales como: variación, control (estabilidad), capacidad de proceso, sobre ajuste entre otros.

La guía internacional para la implementación de sistemas de calidad ISO/TS16949 (IATF, 2002) hace mención a las herramientas estadísticas que pueden ser aplicables con el objetivo de un control de proceso tales como: análisis de variación, análisis de regresión, análisis de dependencia y predicción, histogramas y estratificación, análisis de pareto, planes de muestreo, criterios para estadísticas de aceptación, gráficas de control, evaluación de la estabilidad, técnicas Shainin, en adición a los requerimientos específicos del cliente.

### Requerimientos específicos del cliente.

Los proveedores que se encuentran dentro de la cadena automotriz deben observar las regulaciones particulares de cada uno de sus clientes a fin de cumplir con las regulaciones pertinentes y aplicables en cada caso. Las regulaciones aplicables se encuentran documentadas y reguladas por la IAOB (Internacional Automotive Oversight Bureau) (IATF, 2005). En la siguiente sección se presenta un listado parcial de algunos requerimientos específicos de los clientes dentro de la industria automotriz.

- DaimlerChrysler (1997). *Design of Experiments*. USA: DCX Blue Dot Manuals.
- AIAG Automotive Industry Action Group (2003). *Measurement System Analysis (MSA)*. USA: AIAG Press.
- AIAG Automotive Industry Action Group (1995). *Statistical Process Control (SPC)*. USA: AIAG Press.
- Daimler Chrysler (1999). *Statistical Tools and Analytical Techniques (STAT)*. USA: DCX Blue Dot Manuals.
- Daimler Chrysler (2005). *Process Signed Off (PSO) 5th Edition*. USA: DCX Blue Dot Manuals.
- Paccar (2003). *Supplier Quality Standar*. USA: Paccar Incorporated.
- Tower Automotive (2004). *Achieving Supplier Quality Excellence*. USA: Tower Press.

### Aspecto técnico

El procedimiento de cálculo para el control estadístico de proceso consiste en una serie de pasos estructurados a fin de poder analizar la variación existente en el proceso y en base a ello determinar si el proceso está o no en control y qué nivel de calidad tiene. Existen diferentes propuestas para la implementación efectiva del control estadístico, no obstante se requiere primeramente de un entendimiento profundo sobre las técnicas de control estadístico de proceso y una estrategia de implementación. Una de las propuestas establecen 10 requerimientos para un efectivo control de proceso (Little, T., 2001) (véase la Tabla No. 1).

Tabla 1. 10 Requerimientos para un efectivo control de proceso.

Requerimiento	Descripción
1	Especificaciones claras
2	Sistema de medición confiable
3	Estadística de caracterización
4	Plan de muestreo
5	Desarrollo de gráficos de control
6	Planes de reacción
7	Entrenamiento y certificación
8	Documentación
9	Sistema de información
10	Auditorías periódicas

Otro modelo establece 10 pasos para una producción óptima (véase la tabla No. 2), en la cuál el uso de los métodos Taguchi en el diseño experimental pueden ser usados para un desarrollo robusto del proceso (Jiju et al., 2003).

Tabla 2. 10 pasos para una producción óptima.

Pasos	Descripción
1	Reconocer la existencia del problema y esquematizarlo
2	Definir las características de calidad aplicables
3	Selección de parámetros
4	Clasificación de los factores
5	Determinación de los niveles de los factores
6	Reconocer las interacciones existentes entre las variables
7	Diseño experimental con arreglos ortogonales
8	Experimentación
9	Análisis
10	Implementación

Las dos metodologías presentadas convergen en la identificación de la necesidad para lograr una definición exacta sobre lo que deberá de medirse y la forma en la cuál deberán de controlarse tales o cuáles procesos, sin embargo no definen con claridad la existencia de dos elementos fundamentales para un efectivo control de proceso: 1) aspecto técnico, y 2) estrategia de implementación.

A continuación se presentará un caso de estudio el cuál se ira desarrollando la metodología de control estadístico de proceso paso a paso<sup>1</sup>.

Tabla 3. Ejemplo de cambio de neumáticos.

Item	TCT	Item	TCT
1	7.23455	16	6.64986
2	5.10292	17	5.34176
3	4.85759	18	3.45618
4	3.88836	19	3.91154
5	2.74104	20	3.74824
6	5.30195	21	7.17561
7	4.438	22	5.61463
8	6.36818	23	4.99886
9	7.17318	24	4.5841
10	5.83493	25	6.79025
11	1.96121	26	7.82211
12	9.82336	27	6.65676
13	8.20229	28	6.27348
14	6.0613	29	6.07038
15	5.18275	30	6.45556

En la Tabla No. 3 (véase Tabla No. 3) se presentan 30 valores aleatorios basados en una distribución normal, en donde la variable TCT (tiempo de cambio de neumáticos) es una variable aleatoria que se caracteriza por su  $X = 5$  y  $S = 1.8$ .

**Paso No. 1. Caracterización de los datos.** En esa etapa se requieren hacer diferentes análisis a saber: 1) cálculo de las medidas de tendencia central y de dispersión, 2) pruebas de bondad de ajuste para determinar si los datos son normales o no normales. 3) histograma para conocer gráficamente el comportamiento de los datos.

En la Figura 1 (véase Fig.1) se presenta el resumen gráfico que incluye las medidas de tendencia central, medidas de dispersión, prueba de normalidad, cuartiles, histograma que incluye la curva hipotética normal y diferentes intervalos de confianza. Como se puede observar en los datos el promedio  $X = 5.65$  y la desviación estándar  $S = 1.68$  (relativamente conforme a los parámetros de los números aleatorios explicados con anterioridad). En la gráfica se presenta la prueba de normalidad Anderson – Darling, en la cuál se establece el p-valor superior al 5 %, por lo tanto la distribución tiene un comportamiento normal, sin embargo observamos un dato que separa del grupo condensado de la distribución.

La distribución de los datos tiene una correspondencia directa con la variación existente, pudiendo identificar dos tipos de causas probables: 1) causas normales o variación explicada, 2) causas anormales o variación no explicada. Para

el ejemplo de cambio de neumáticos una posible causa normal de variación puede ser el entrenamiento del personal en el cambio de los neumáticos, mientras que una causa no explicada o anormal, puede ser un fallo en la alimentación del sistema neumático que condicionaría la ocurrencia de una falla mayor durante el proceso.

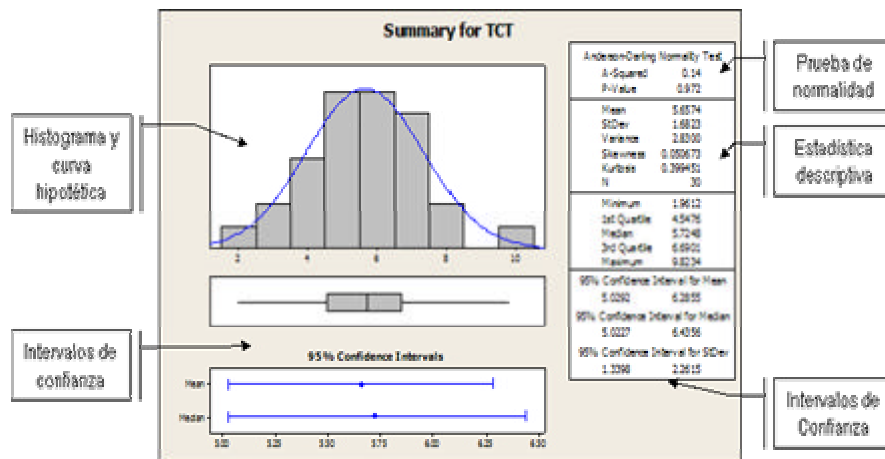


Figura 1. Resumen gráfico.

En la Figura anterior (véase Fig.1) se presentan otros indicadores estadísticos tales como sesgo, kurtosis, dato mínimo, primer y tercer cuartil, mediana, dato máximo, intervalos de confianza para la media, mediana y desviación estándar (Montgomery, 1991).

**Paso No. 2. Cálculo del nivel de la calidad del proceso<sup>2</sup>.** Para el cálculo del nivel de calidad del proceso se requiere de conocer los parámetros de medición del cliente, los cuáles pueden ser expresados en términos cuantitativos o cualitativos, pero invariablemente serán parámetros de comparación. Para el ejemplo de cambio de neumáticos definiremos que el límite de especificación superior (USL) se establece en 8 segundos.

En la fFigura 2. (véase Fig. 2) se puede observar la gráfica de capacidad de proceso en la cuál se identifican cálculos importantes: 1) datos del proceso, 2) desempeño observado, 2) desempeño dentro de grupos, 3) desempeño global, y 4) índices de capacidad del proceso.

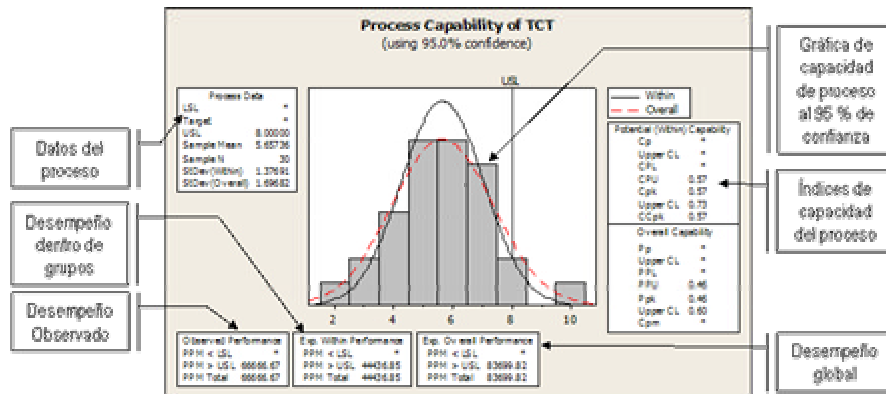


Figura 2. Cálculo de la capacidad del proceso.

El indicador **Cpu/Ppu** toma en cuenta la especificación mayor bajo una amplitud máxima de 3 veces la desviación estándar (véase fórmula 1).

$$Cpu = \frac{(USL - \bar{X})}{3S_x}; \left( S_x = \frac{\bar{R}}{d_2} \right); S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Fórmula 1. Índice de Capacidad de Proceso Superior.

El indicador **Cpl/Ppl** toma en cuenta la especificación menor bajo una amplitud máxima de 3 veces la desviación estándar (véase fórmula 2).

$$Cpl = \frac{(LSL - \bar{X})}{3S_x}; \left( S_x = \frac{\bar{R}}{d_2} \right); S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Fórmula 2. Índice de Capacidad de Proceso Inferior.

**Cp.** Este indicador toma en cuenta la diferencia absoluta entre los dos límites de especificación entre la amplitud máxima de 6 veces la desviación estándar, en caso dado de que solo exista un límite de especificación se deberá calcular entre 3 veces la desviación estándar (véase fórmula 3).

$$Cp = \frac{(USL - LSL)}{6S_x}; \left( S_x = \frac{\bar{R}}{d_2} \right) S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Fórmula 3. Índice de Capacidad de Proceso.

**Cpk/Ppk.** Equivale al menor resultado comparando Cpl/Ppl y Cpu/Ppu (véase fórmula 4).

$$Cpk = \text{Mín} (Cpu, Cpl)$$

Fórmula 4. Índice de Capacidad de Proceso Centrado.

**CCpk/Cpm.** Este indicador es equivalente al Cpk/Ppk sin embargo en lugar de utilizar el promedio como valor de referencia utiliza el valor nominal, para establecer un cálculo que qué tan alejado del valor objetivo se sitúa (véase fórmula 5).

$$Cpm = \frac{(T - \bar{X})}{3S_x}$$

Fórmula 5. Índice de Capacidad de Proceso Centrado al Valor Nominal.

**Paso No. 3. Selección del gráfico de control.** La correcta selección del gráfico de control impacta directamente en la eficiencia operativa del método de control sobre la característica a monitorear. Una mala selección del gráfico de control puede resultar en un aumento o disminución de la sensibilidad en cuanto a la detección de la variación o cambios en el proceso. Como se discutió anteriormente la variación del proceso es en algunas veces un efecto inevitable pero no así la falta de control de la variación que en ello radica el control del proceso. En la siguiente tabla (véase tabla No. 4) se encuentra un resumen esquemático de los métodos tradicionales de control estadístico de proceso (Ziemer, 2002).



Tabla 4. Selección apropiada de las gráficas de control.

Tipo de dato	Tamaño de Muestra	Tipo de Gráfica	Descripción
Variable	n = 1	X Li	Lecturas individuales
	3 < n < 5	X y R	Medias y rangos
	n > 9	X y S	Medias y desviación estándar
Atributos	Múltiples defectos por unidad	C	Promedio de defectos
		U	Número de defectos por unidad
	No importa la cantidad de defectos por unidad	Np	Número de defectos
		P	Proporción defectuosa

En la tabla anterior se muestra un esquema general para la selección de las gráficas de control aplicables en el proceso de control de la calidad, cabe destacar que existen otras gráficas de control modificadas que logran obtener una mayor sensibilidad para detectar cambios o variaciones en el proceso<sup>3</sup>.

**Paso No. 4. Cálculo del costo total de la calidad** El costo total de la calidad (Cruz, 2004) es la resultante del esfuerzo de la calidad que la organización realiza a fin de lograr productos y servicios que cumplan con las especificaciones y expectativas de los clientes (véase Tabla No. 5).

Tabla 5. Costo total de la calidad.

Siglas	Descripción	Ejemplos de aplicación
COQ	Costo de la calidad (Cost of Quality)	El costo de las auditorías al sistema de calidad, los sueldos y salarios del personal del departamento de calidad, para asegurar la conformidad de los productos y servicios.
CO PQ	Costo de la pobre calidad (Cost of Poor Quality)	El costo de garantías, el costo de retrabados, o el costo del desperdicio.
TCOQ	<b>Costo total de la calidad</b> ( <b>Total Cost of Quality</b> )	Es la sumatoria de los esfuerzos económicos por asegurar la calidad de los productos y servicios más el costo de los no conformes.

Considerando que el proceso de producción de los neumáticos tienen un precio de venta cifrado en \$10/pza. y en caso dado de que el proceso tenga una desviación y en consecuencia se requiera de efectuar alguna operación de salvamento (retrabajo, reparaciones o reprocesos) el costo estimado sería del 20 % sobre el costo de venta. Por lo tanto el costo total de la calidad se cifra en \$2/pza (véase Tabla No. 6).

Tabla 6. Costo total de la calidad.

Elemento	Importe	Explicación
Precio de Venta	\$ 10 / pza.	Los artículos producidos que logran alcanzar su costo estándar de producción son aquellos que no tienen pérdidas o deficiencias, por el contrario aquellos artículos que por diferentes razones tuvieron que ser demorados, reparados o retrabajados o incluso desechados, estos artículos no logran su costo estándar y se convierten en gastos de operación, es decir costos de la pobre calidad.
<b>Costo de salvamento</b>	<b>\$ 2 / pza.</b>	

**Paso No. 5. Control avanzado del proceso.** El control avanzado del proceso es un nuevo término para identificar un nuevo estado del control del proceso (Pylypow, P., 2000). El control de proceso tradicional hace uso de las gráficas de control tradicionales, sin embargo al hablar sobre el control avanzado del proceso es necesario identificar dos variables: 1) El sistema de monitoreo, detección y reacción existente, y 2) El método de control existente.

**Sistema de monitoreo, detección y reacción.** El estado del control del proceso puede verse afectado por la forma en la cuál se establece el monitoreo, la detección y la reacción en dado caso de existir una no conformidad pudiendo identificar tres diferentes escenarios: 1) Básico, 2) Intermedio, y 3) avanzado (véase Fig. 3).

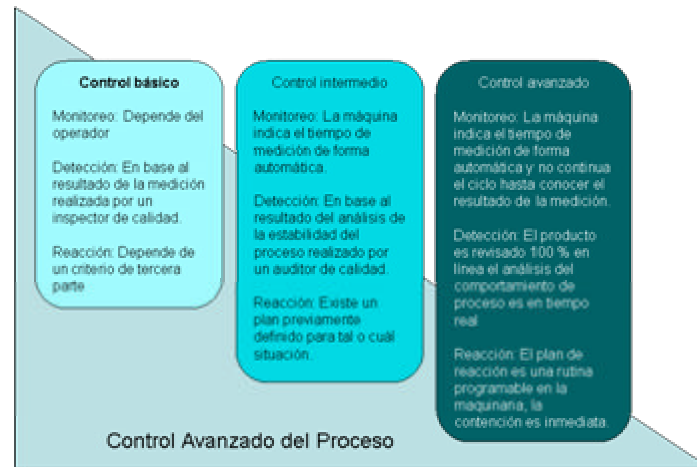


Figura 3. Sistema de monitoreo, detección y reacción.

**Método de control existente.** Los métodos de control pueden variar entre básicos y avanzados, siendo los primeros las gráficas de control tradicionales, por otra parte los métodos avanzados de control de proceso tendrán ciertas modificaciones en el diseño del algoritmo matemático que logrará un control sensitivo de cambios en la variación existente. Algunas alternativas de métodos avanzados para el control del proceso son los métodos sintéticos de gráficas de control para la detección de fracciones de no conformes (Wu et al., 2001), por otra parte, se encuentran propuestas para el uso de nuevos índices de la capacidad del proceso basados en el valor nominal de la especificación  $C_{pm}$  (Chen & Chen, 2004), o incluso mecanismos sencillos de interfase para el operador como las gráficas arco iris (Prevette, 2004). Los procedimientos estadísticos usados para las gráficas de control avanzado de proceso suelen ser más elaboradas que los métodos tradicionales, no obstante existen diferentes alternativas para el cálculo automático (Wu & Huat, 2001) y (Jiang & Tsui, 2000).

### Implementación efectiva

Al principio del desarrollo del artículo se elaboraron 4 cuestionamientos fundamentales: ¿Cómo lograr controlar el proceso? ¿Por qué el SPC no funciona correctamente? ¿Por qué el SPC no lo dominan los ingenieros? ¿La máquina se controla automáticamente con sus parámetros, para qué llevar gráficas de control o algo adicional? En esta última sección del artículo abordaremos uno a uno de las interrogantes planteadas.

**¿Cómo lograr controlar el proceso?** El control estadístico del proceso es una herramienta útil para monitorear las variables críticas del proceso (KPV), estas variables resumen el comportamiento de una máquina, proceso, sección, línea de producción etc. Veamos la siguiente Figura (véase Fig. 4) en donde se presenta el diagrama fundamental de entrada-proceso-salida, en este diagrama se visualizan las variables  $Z_i$  (que representan las entradas al proceso), variable  $X_i$  (que representa las variables de ajuste de proceso inherentes a la maquinaria y/o proceso), y la variable  $Y_i$  (que representa la salida del proceso) para este caso, la variable "salida del proceso" será el valor de calidad o resultado esperado que requerimos de la combinación adecuada de los otros dos tipos de variables  $Z_i$  y  $X_i$ .

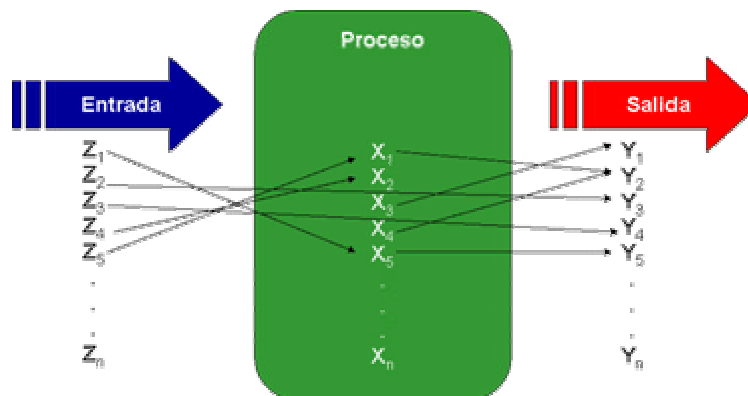


Figura 4. Diagrama de variables críticas de proceso.

El control del proceso radica en seleccionar las KPV's (formado por  $Z_i$  y  $X_i$ ) fundamentales que impactan directamente en la variable resultado  $Y_i$ . La forma en la cuál se puede identificar las variables KPV's puede ser utilizando algunas técnicas estadísticas de análisis multivariante como: análisis de componentes principales, análisis discriminante, regresión multivariada, diseño de experimentos, métodos taguchi, entre otros. Una vez que las variables KPV's han sido seleccionadas se identifica el rango de operación de cada variable a fin de establecer un método de recolección de datos y análisis, con ello se logrará dar seguimiento a los comportamientos normales y anormales de cada variable.

**¿Por qué el SPC no funciona correctamente?** En ocasiones el control estadístico de proceso no funciona correctamente debido a tres elementos importantes: a) la forma en que se seleccionan las variables KPV's, b) selección del método de monitoreo y control, y c) estrategia de muestreo. Los primeros dos elementos ya fueron tratados y explicados con anterioridad, a continuación abordaremos el tercer elemento.

**Estrategia de muestreo.** Existe una variedad de métodos de muestreo, a saber: muestreo hipergeométrico, muestreo binomial, muestreo estratificado y secuencial, entre otros (Scheaffer, 1986). A fin de simplificar el cálculo para determinar el tamaño de la muestra y el poder estadístico de la muestra existen dos herramientas validadas y usadas a nivel internacional por la industria automotriz: 1) AQL (aceptación del nivel de calidad) mismo que representa la posibilidad de encontrar una falla por cada 100 unidades (Chase, 1998), y 2) Tablas de muestreo MILSTD105D. Ambas herramientas simplifican el cálculo del tamaño de la muestra ya que los datos de entrada son nivel de calidad deseado, tamaño del lote y con estos se puede identificar el tamaño de la muestra apropiado. El cálculo del tamaño de la muestra es sencillo ya que existen programas computacionales y tablas de muestreo que ayudan a la selección de una forma sencilla, sin embargo el error común radica en determinar la estrategia de muestreo aplicable, considerando dos aspectos fundamentales aleatoriedad y frecuencia apropiada para la toma de lecturas (véase Tabla No. 4), otras técnicas de muestreo se discuten de forma sintética por el Stagliano (2004). El tamaño de la muestra representativa de un lote de producción (normalmente definido por cantidad de unidades o tiempo de producción o ambos) será dividido en el tiempo total de producción con ello se lograrán condiciones de representatividad y aleatoriedad durante la corrida de producción o proceso del lote de producción correspondiente al universo poblacional.

**¿Por qué el SPC no lo dominan los ingenieros?** El problema radica en el desconocimiento de las técnicas de control estadístico de proceso en varios niveles de la organización tales como nivel operativo, nivel supervisión, nivel ingeniero o jefatura y nivel gerencia. Existen diferentes compañías de consultoría en el mercado que se dedican a impartir algunos de los siguientes cursos:

- Estadística básica
- 7 Herramientas básicas de calidad
- Control estadístico de proceso nivel operadores
- Control estadístico de proceso básico
- Control estadístico de proceso avanzado
- Análisis de regresión multivariada
- Diseño de experimentos

Los cursos anteriormente mencionados típicamente no son impartidos en su totalidad en las carreras universitarias, por lo que no se puede esperar que un ingeniero de calidad o de proceso tenga las habilidades y conocimientos necesarios para diseñar e implementar por sí mismo un control estadístico efectivo, para ello es necesario definir un programa de capacitación en el cuál se llevarán a los ingenieros, supervisores y operadores a un nivel de conocimiento y entendimiento

de las técnicas estadísticas necesarias a fin de poder implementar un control de proceso efectivo.

**¿La máquina se controla automáticamente con sus parámetros, para qué llevar gráficas de control o algo adicional?** Las máquinas tienen una interface en la cuál se digitan o se establecen los parámetros y rango de proceso definidos para un producto en particular o familia de productos, sin embargo no podemos esperar que la maquinaria respete en todo tiempo los parámetros preestablecidos, así mismo no podemos esperar que el resultado de los parámetros siempre sea el mismo. Existen 6 diferentes fuentes de variación 1) método, 2) maquinaria, 3) mano de obra, 4) medio ambiente, 5) medición, 6) materiales (véase Fig. 5). Cada uno de estos factores puede incidir en las variables de procesamiento y principalmente en las KPV's así mismo impactaran en algún sentido a las variables resultantes del proceso  $Y_i$ . Ya que la variación pudiese considerarse como algo esperable en cualquier proceso, es necesario monitorear la variación a fin de controlarla y ejecutar acciones correctivas y preventivas según sea el caso. Otra forma de ver el control de la variación es a través de la técnica del diseño de experimentos (DOE) (Montgomery, 1991), función de pérdida (FL), y el análisis de robustez en donde se requiere diseñar el sistema tanto para el producto como para el proceso de forma tal que la variación transmitida a las variables respuestas sea mínima (Carlyle, W.M., Montgomery, D.C., Runger, G., 2000). Las tres técnicas anteriores pueden ayudar a determinar los parámetros óptimos de procesamiento (ventana de proceso) en la cuál la variación del proceso y la pérdida económica asociada con la variación sea mínima.

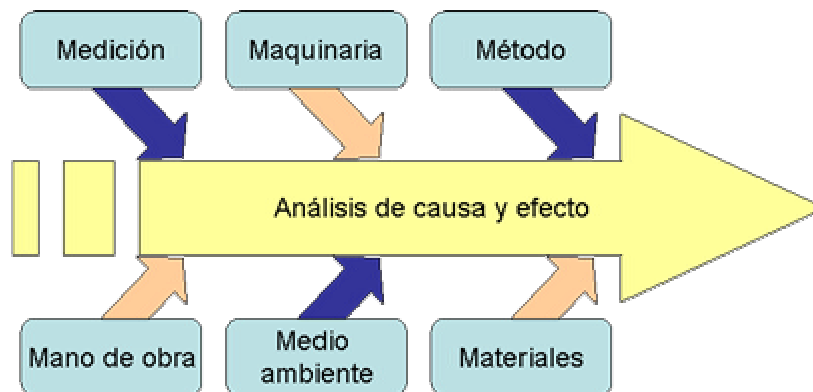


Figura 5. Fuentes de variación.

## Conclusiones

En el presente artículo se han tratado tres temas fundamentales: 1) los requerimientos internacionales automotrices respecto del control estadístico, 2) el aspecto técnico sobre los diferentes métodos de control de proceso, y 3) la estrategia de implementación de un efectivo control de proceso.

El primer aspecto dejó en claro que existen lineamientos internacionales automotrices, así mismo, éstos se convierten en requerimientos específicos a seguir si la organización se encuentra dentro de la cadena de proveedores automotrices.

El segundo tema abordó el aspecto técnico de cálculo de los procedimientos estadísticos necesarios para la implementación del control estadístico, así mismo se presentaron dos propuestas para el control efectivo y se esquematizó una propia, a fin de establecer una alternativa metodológica en el análisis y control de la variación.

El tercer tema trató el tema de la estrategia de la implementación del control estadístico, siendo las principales variables: conocimiento profundo de los diferentes métodos de control estadístico y una estrategia clara y definida para una exitosa implantación del sistema de monitoreo, control, detección y reacción.

## Reconocimiento

Se reconoce la participación del MSc. Virgilio Alemán (Gerente de planta de Siemens VDO Automotive AFM SCT) en la revisión técnica y retroalimentación del presente artículo en las etapas previas a la versión final.

## Referencias

- ISO. 2002. ISO/TS16949VE. Switzerland: ISO Press. 26-32.
- IATF. 2002. Guidelines. USA: IATF Press. 26-27.
- IATF. 2005. Customer Specific Requirements. Consultado en Julio, 17, 2005 en [www.iaob.org/oem\\_req.html](http://www.iaob.org/oem_req.html).
- Little, T. 2001. 10 Requirements for Effective Process Control: A case of study. Quality Progress, 34(2): 46-52.
- Jiju, A., G. Knowles, & T. Taner. 2003. 10 Steps to Optimal Production. Quality Progress, 40(9): 45-49.
- Montgomery, D. 1991. Control Estadístico de la Calidad. México, Iberoamérica. 17-44.
- Ziener, T., et al. 2002. The Black Belt Memory Jogger. USA: Goal/QPC - Six Sigma Academy. 221-229.
- Cruz, J. 2004. Cuánto Cuesta la Calidad? Innovaciones de Negocios, 2(2): 259-276.

- Pylipow, P. 2000. Understanding the Hierarchy of Process Control: Using a combination map to formulate an action plan. *Quality Progress*, 33(10): 63-66.
- Wu, Z., S. Y. Huat, & T. Speeding. 2001. A Synthetic Control Chart for Detecting Fraction Nonconforming Increases. *Journal of Quality Technology*, 33(1): 104-111.
- Chen, J. P., & K. S. Chen. 2004. Comparing the Capability of Two Processes Using Cpm. *Journal of Quality Technology*, 36(3): 329-335.
- Prevette, S. 2004. Stoplight Charts. *Quality Progress*, 37(10): 74-80.
- Wu, Z., & S. Y. Huat. 2001. Implementing Synthetic Control Charts for Attributes. *Journal of Quality Technology*, 33(1): 112-114.
- Jiang, Q., & K. L. Tsui. 2000. An Economic Model for Integrated APC and SPC Control Charts. *IEE Transactions*, 32(6): 505-513.
- Scheaffer, R., W. Mendenhall, & L. Ott. 1986. *Elementos de Muestreo*. México, Iberoamérica. 291-302.
- Chase, R., N. Aquilano, & R. Jacobs. 1998. *Production and Operations Management: Manufacturing and Services*. USA: Irwin/McGraw-Hill. 236-240.
- Stagliano, A. 2004. *Six Sigma Advance Tools*. Canada, McGraw-Hill. 37-48.
- Montgomery, D. 1991. *Diseño y Análisis de Experimentos*. México, Iberoamérica. 1-10.
- Carlyle, W.M., D. C. Montgomery, & G. Runger. 2000. Optimization Problems and Methods in Quality Control and Improvement. *Journal of Quality Technology*, 32(1): 1-17.

<sup>1</sup> Nota: Los cálculos presentados fueron realizados con el programa estadístico

MINITAB V 14.1 y puede consultarse en la dirección de Internet: [www.minitab.com](http://www.minitab.com)

<sup>2</sup> Nota: Las fórmulas presentadas corresponde para tolerancias bilaterales, para el caso de tolerancias unilaterales se deberá hacer el desarrollo necesario a fin de considerar un solo límite de especificación.

<sup>3</sup> Nota: Las gráficas de control modificadas se tratarán en el tema del paso No. 5 Control avanzado del proceso.