3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management
XIII Congreso de Ingeniería de Organización
Barcelona-Terrassa, September 2nd-4th 2009

Comparación de dos estrategias para eliminar fluctuaciones en la media de un proceso*

Pere Grima, Xavier Puig, Xavier Tort-Martorell

[1] Dpto. de Estadística e Investigación Operativa. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona. Universidad Politécnica de Catalunya. Av. Diagonal, 647, 08028. Barcelona. pere.grima@upc.edu, xavier.puig@upc.edu, xavier,tort@upc.edu

Palabras clave: Control estadístico de procesos, medias móviles, control adaptativo

1. El problema

En una industria del sector de la automoción, una de las operaciones que se realizan de forma automática consiste en introducir un vástago en su receptáculo aplicándole una fuerza que se calcula pieza a pieza en función de ciertas características dimensionales (es imposible que todas las piezas sean idénticas). Una vez introducido, la parte que sobresale es una cota crítica e interesa que tenga la mínima variabilidad posible (Figura 1).

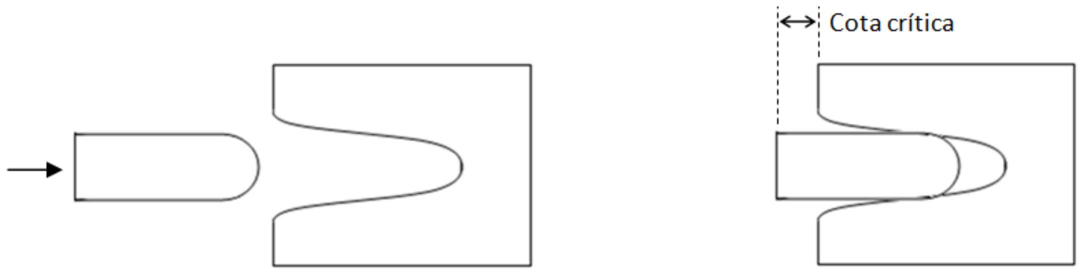

Figura 1. Inserción del vástago y cota crítica (visión esquemática)

Con el actual criterio para calcular la fuerza que se aplica a cada vástago se producen, por razones desconocidas, desviaciones en el valor medio de la cota crítica. Se dispone de los valores que muestran la evolución de esta cota en los 3 últimos lotes de producción, los cuales se consideran representativos de producción en general (Figura 2).

2. Objetivo

Se desea incorporar un nuevo ajuste pieza a pieza, adicional a los que ya se realizan, para evitar que el valor medio fluctúe. Obviamente, también se pretende que esa corrección adicional no aumente la variabilidad por problemas de sobreajuste.

Para determinar la variabilidad mínima a que se puede aspirar si se elimina la fluctuación de la media, se ha considerado que en 50 observaciones seguidas la variación de la media es muy pequeña, por lo que se puede considerar que no afecta a la variabilidad dentro de ese grupo. Así pues, como estimación de la varianza obtenida si no hubiera fluctuaciones se ha tomado el

* Este trabajo se deriva de la participación de sus autores en el proyecto de investigación financiado por el Ministerio Ciencia y Educación con referencia DPI2007-61371, titulado "Programación de operaciones multicriterio con máquinas paralelas, en varias etapas, sin interrupciones ni almacenajes".

promedio de las varianzas para grupos de 50 observaciones consecutivas. Se ha probado también para otros tamaños de grupo y las diferencias no son relevantes (Tabla 1).

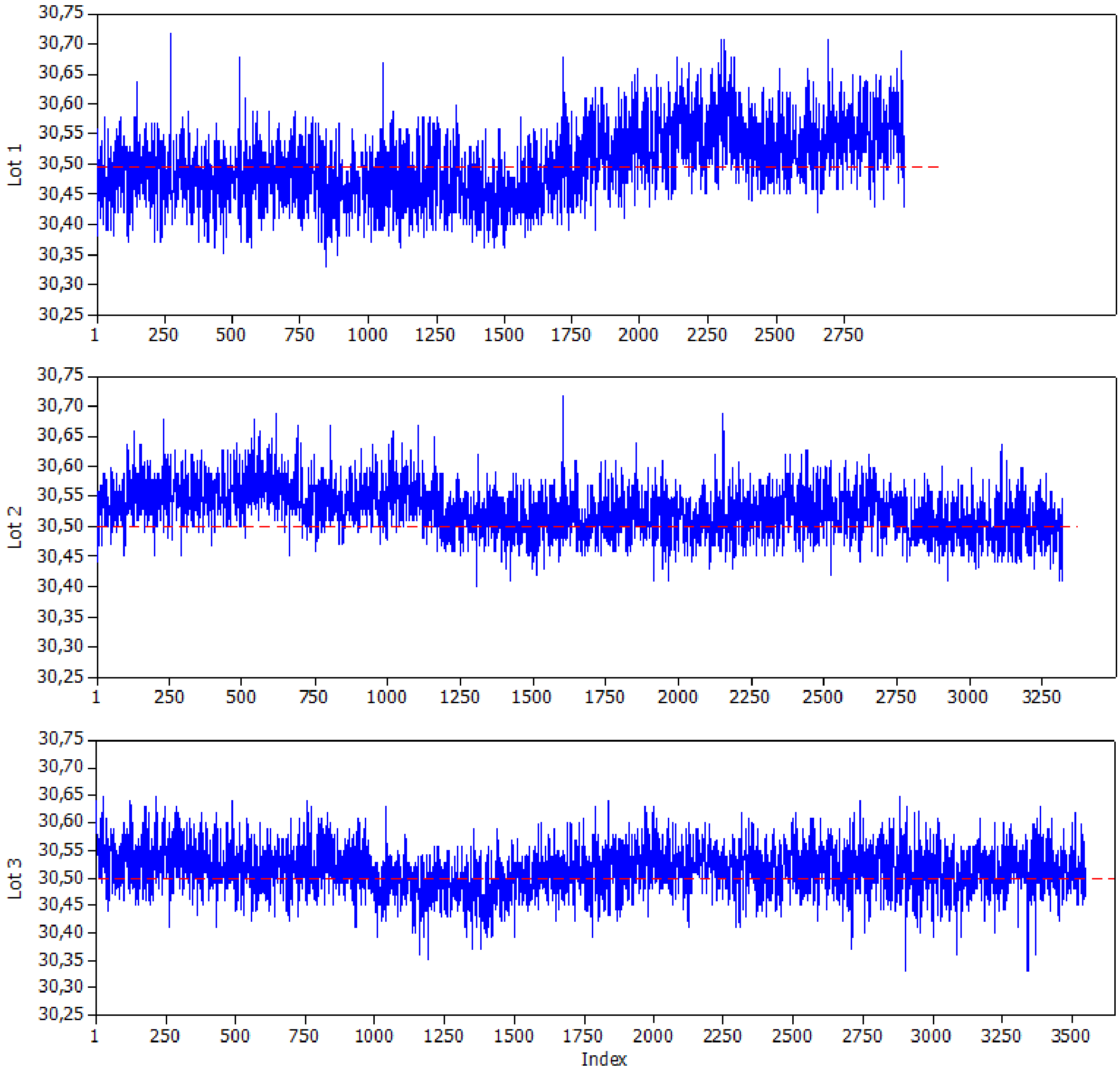

Figura 2. Valores de la cota crítica en los tres últimos lotes

	Número total de datos	Media	Variabilidad (desviación tipo)	
			Situación de partida	Valores objetivo (cota mínima)
Lote 1	2969	30,501	0,0601	0,0482
Lote 2	3318	30,528	0,0419	0,0361
Lote 3	3546	30,514	0,0429	0,0402

Tabla 1. Situación de partida y valores objetivo ("cota mínima") para la variabilidad de los archivos de referencia

3. Posibles estrategias

Sin duda, la mejor opción hubiera sido identificar las causas que provocan las fluctuaciones y actuar sobre ellas, pero el conjunto de causas que pueden afectar es muy complejo y se consideró que este no era un camino viable.

Por otra parte, la estrategia no puede ser la típica del control estadístico de procesos (SPC), ya que en ese caso se supone que el proceso permanece en estado de control hasta que, de forma excepcional, se desajusta y esos desajustes son los que pretende detectar para poder corregir el proceso (corrección que, en general, supone una intervención costosa). En nuestro caso, la fluctuación de la media es el estado natural del proceso y la corrección, incorporada a los mecanismos de ajuste existentes, no es costosa, por lo que lo más adecuado es corregir pieza a pieza.

Se han considerado 2 tipos de estrategia, una en función de la una media móvil y otra que está solo en función del último valor observado.

4. Corrección en función de la media móvil

La presencia de factores que influyen en la media del proceso hace que esta se desvíe de su valor objetivo. Esta influencia, en un momento dado, se puede medir a través de la diferencia entre el valor medio que se está obteniendo y el valor objetivo (Figura 3).

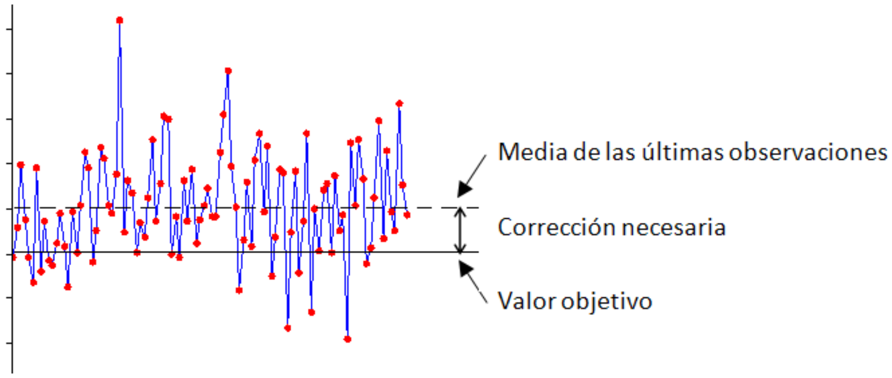

Figura 3. Corrección en función del valor medio de las últimas observaciones

Por tanto, la estrategia consiste en introducir una corrección igual a diferencia entre el promedio de las últimas n observaciones –suponiendo que no se hubiera realizado la corrección– y el valor objetivo, tal como se indica en la Tabla 2, en la que T es el valor objetivo y $\overline{y}_{i:j}$ es el promedio de valores entre las observaciones y_i e y_j.

i	Valor sin corrección	Corrección	Valor corregido
1	y_1	$C_1 = 0$	y_1
2	y_2	$C_2 = 0$	y_2
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
n	y_n	$C_n = 0$	y_n
$n+1$	y_{n+1}	$C_{n+1} = \overline{y}_{1n} - T$	$y_{n+1} \quad C_{n+1}$
$n+2$	y_{n+2}	$C_{n+2} = y_{2n+1} - T$	$y_{n+2} - C_{n+2}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

Tabla 2. Estrategia de corrección en función de la media móvil

Para la aplicación de esta estrategia se han considerado los siguientes parámetros:

- Número de valores anteriores que contemplan en el ajuste (n): Dicho número puede ir desde 1 (solo se contempla el valor anterior) hasta un valor máximo que aquí se ha considerado igual a 100.
- Factor de ponderación exponencial de los valores usados para el ajuste (p): La influencia de los valores que se contemplan en el ajuste se puede hacer disminuir exponencialmente, de forma que los más recientes tengan más influencia que los más alejados. El valor de estos pesos puede ir desde p=0, situación en la que solo tiene influencia el último valor obtenido, hasta p=1 en la que todos los valores tienen la misma influencia (caso de la media móvil).
- Frontera para anomalías (k): En los gráficos que muestran la evolución de valores obtenidos se observan unos picos que corresponden a observaciones muy alejadas de la media, pero que no significan un descentramiento del proceso, ya que son apariciones esporádicas que se corrigen solas. Se ha considerado la posibilidad de no incluir en el cálculo del ajuste los valores que están fuera del intervalo 30,5 ± k, con valores de k desde 0,1 a 0,2.
- Umbral de corrección: Introducir correcciones muy pequeñas puede significar introducir correcciones en un proceso que ya está centrado, provocando un efecto contrario al buscado (aumento de variabilidad por sobreajuste). Se ha planteado, establecer un umbral mínimo a partir del cual se realizaría la corrección. Los valores del umbral pueden ir desde u=0 (se corrige siempre) hasta u=0,05.

Mediante un programa escrito en R se ha determinado la combinación de valores de los parámetros que minimizan la variabilidad para de los datos de cada lote y a continuación se han determinado unos de valores óptimos de compromiso para los 3 lotes. Estos parámetros óptimos son: $p = 1$, $N = 50$, $k = 0{,}15$ y $u = 0$.

Con estos valores, las variabilidades obtenidas en cada archivo son las que se indican en la Tabla 3.

	Desviación tipo inicial	Desviación tipo obtenida		Cota mínima
		Con los parámetros óptimos para el archivo	Con los parámetros de compromiso	
Lote 1	0,0601	0,0492	0,0494	0,0482
Lote 2	0,0419	0,0370	0,0371	0,0361
Lote 3	0,0429	0,0413	0,0414	0,0402

Tabla 3. Variabilidad final con la estrategia tipo "media ponderada"

5. Corrección en función de la última desviación

Esta estrategia consiste en introducir una corrección proporcional a la desviación entre el último valor obtenido y el valor objetivo. Esta corrección se va actualizando con la información que aporta cada nueva observación, de la forma que se indica en la tabla 4 (T = valor objetivo, f = factor de corrección):

Observación (i)	Corrección (C_i)	Valor observado (y_i)
1	$C_1 = 0$	y_1
2	$C_2 = (T - y_1)f + C_1$	y_2
3	$C_3 = (T - y_2)f + C_2$	y_3
4	$C_4 = (T - y_3)f + C_3$	y_4
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
i	$C_i = (T - y_{i-1})f + C_{i-1}$	y_i
$\vdots$		$\vdots$

Tabla 4. Estrategia de corrección en función de la última desviación

Los parámetros considerados son:

- Frontera para anomalías (k): igual que en la estrategia anterior.
- Factor de corrección (f): Factor por el que se multiplica la diferencia entre la última observación y el valor objetivo para actualizar la corrección que se aplicará a la próxima observación. Los valores considerados para f van de 0 a 1.

Realizado el estudio correspondiente, los parámetros aconsejados para esta estrategia son: $f = 0{,}04$ y $k = 0{,}15$ y con estos valores, las variabilidades obtenidas son los que se indican en la Tabla 5.

	Desviación tipo inicial	Desviación tipo obtenida		Cota mínima
		Con los parámetros óptimos para el lote	Con los parámetros de compromiso	
Lote 1	0,0601	0,0491	0,0491	0,0482
Lote 2	0,0419	0,0368	0,0368	0,0361
Lote 3	0,0429	0,0411	0,0411	0,0402

Tabla 5. Variabilidad final con la estrategia tipo "corrección en función de la última desviación

6. Comparación de las dos estrategias

La estrategia de ajuste en función de la última desviación tiene las siguientes ventajas:

- Da resultados ligeramente mejores que la estrategia tipo "medias móviles".
- Es más fácil de implementar, ya que no hay que calcular medias móviles.
- No precisa hacer la hipótesis de que el ajuste que se introduce no modifica la tendencia inicial de los datos. Recuérdese que la media móvil no se realiza sobre los datos que han salido, sino sobre los que hubieran salido si no se hubieran hecho ajustes.
- Inicia antes la corrección, sin necesidad de esperar a que se fabriquen un número de piezas igual a la longitud de la media móvil.

La Figura 4 muestra las variabilidades (medidas a través de la desviación tipo) obtenidas en cada lote con cada estrategia comparándolas con los valores iniciales y el que ha sido fijado como mínimo posible. La Figura 5

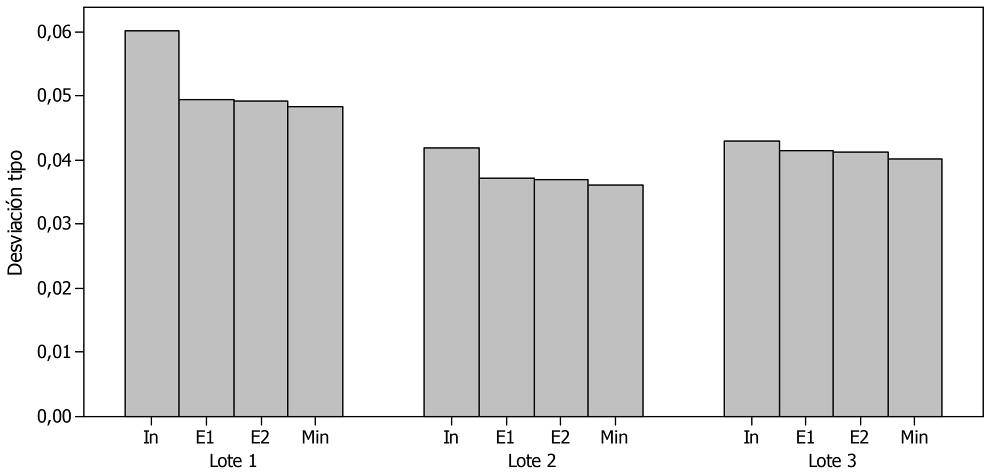

Figura 5. Comparación de las variabilidades (desviación tipo) inicial (In) obtenida con las estrategias 1 y 2 (E1 y E2) y mínima posible (Min)

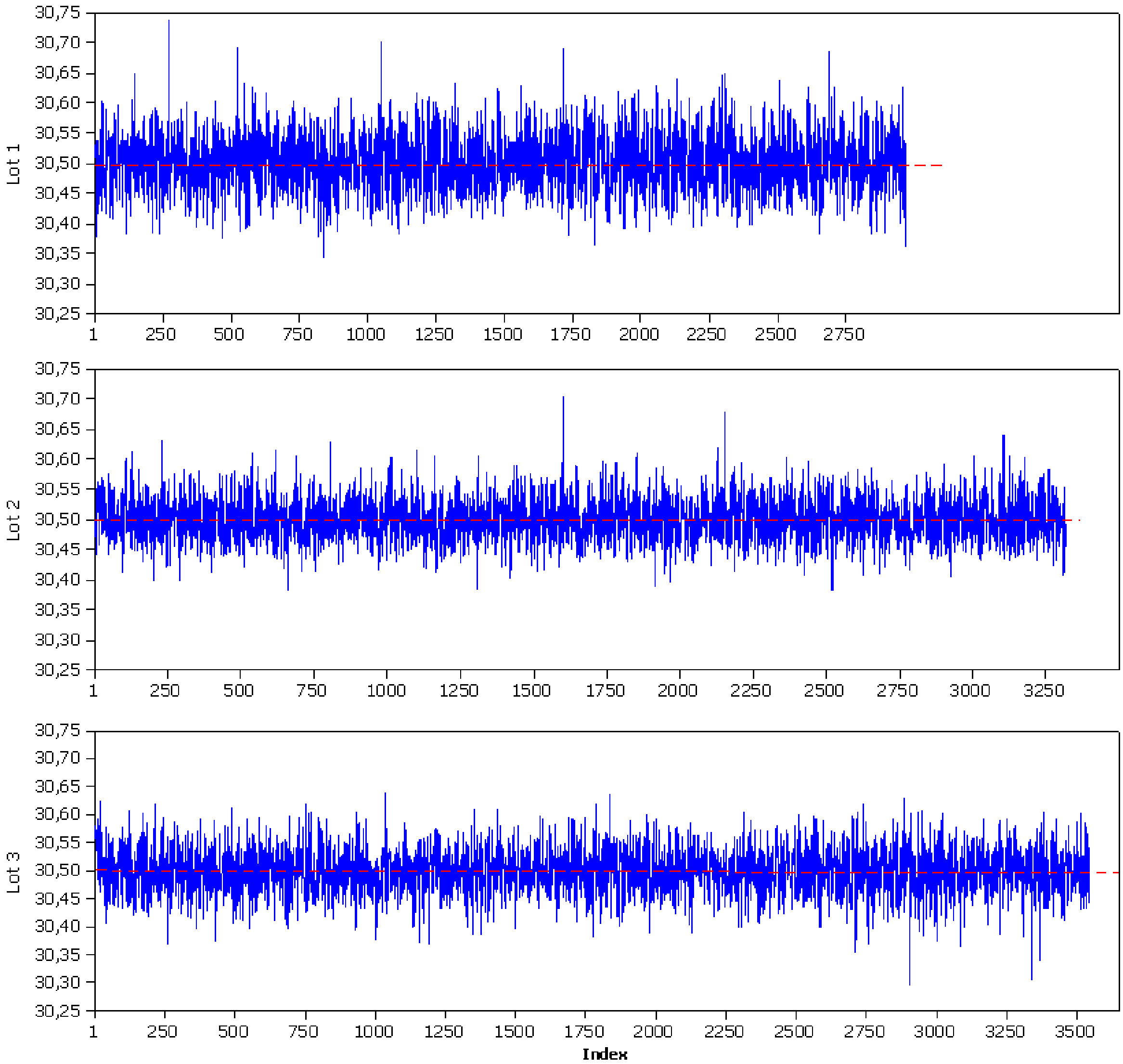

Figura 6. Valores que se hubieran obtenido aplicando la estrategia de corrección en función del último valor

Referencias

Box, G.E.P.; Luceño, A. (1997). Statistical Control: By Monitoring and Feedback Adjustment. Wiley.

Box, G.E.P.; Paniagua-Quiñones Carmen (2007). Two Charts: Not One. Quality Engineering, Vol. 19, pp. 93-100.

Montgomery D.C. (2001) "Introduction to Statistical Quality Control" 4th ed. Wiley