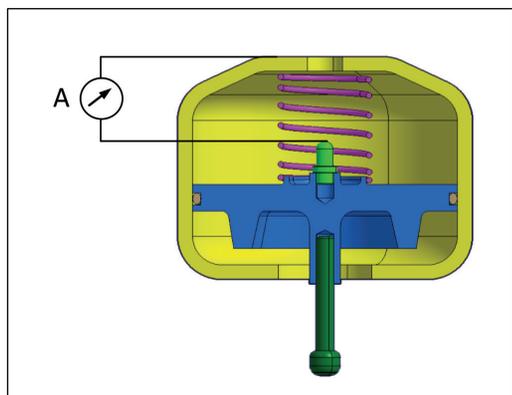


Reducción de la variabilidad mediante técnicas de control adaptativo de procesos



Pere Grima Cintas
Xavier Puig Oriol
Xavier Tort-Martorell Llabrés

Dr. Ingeniero Industrial
Dr. en Estadística
Dr. Ingeniero Industrial

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. BarcelonaTech. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. Av. Diagonal, 647 - 08028 Barcelona. Tfno: +34 934 011724. pere.grima@upc.edu

Recibido: 04/03/2013 • Aceptado: 10/06/2013

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/5781>

REDUCING VARIABILITY BY MONITORING AND FEEDBACK ADJUSTMENT

ABSTRACT

- This paper presents the results obtained using two strategies to eliminate fluctuations in the value of a critical dimension of a car's braking system critical component. The quality levels required in this product demand great precision in some dimensions and, due to the peculiarities of its manufacturing process, this can only be achieved by making adjustments unit to unit. Although these adjustments are made automatically based on the exact measurements of the components there are fluctuations in the value of one the critical dimension. Since the causes of the fluctuations were unknown, it was decided to approach the problem from a statistical point of view. This was done by introducing changes based on statistical criterions in the algorithm that regulates the adjustments. A first strategy, the most classical, bases the adjustments on the difference between a moving average and the target value; a second one is to make adjustments based on the deviation of the last part with respect to the target value. After defining a set of parameters for each strategy and selecting their optimal values we have simulated the two strategies' behaviour with the values of three batches representative of the overall production. Both strategies offer good results, but the second is slightly better and easier to implement and therefore it was the one incorporated in the production process.
- **Key Words:** Feedback adjustment, statistical process control, exponential weighing, variability reduction.

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados obtenidos mediante dos estrategias para eliminar fluctuaciones en el valor de una cota crítica en un componente del sistema de frenado del automóvil.

Conseguir las prestaciones y los niveles de calidad requeridos en este producto exige una gran precisión en algunas cotas y, debido a las peculiaridades de su proceso de fabricación, esto solo se consigue realizando ajustes unidad a unidad. Estos ajustes se ejecutan de forma automática en función de las medidas exactas de los componentes pero se observan fluctuaciones en el valor de una de las cotas críticas.

Como se desconocen las causas que provocan esas fluctuaciones se decidió abordar el problema desde un punto de vista estadístico, introduciendo en el algoritmo que regula los ajustes una nueva corrección en función de los valores que se van obteniendo. La primera estrategia es la más clásica y consiste en introducir ajustes en función de la diferencia entre la media móvil y el valor objetivo, la segunda consiste en introducir ajustes en función de la desviación de la última pieza fabricada respecto al valor objetivo.

Tras definir una serie de parámetros para cada estrategia y de seleccionar sus valores óptimos se ha simulado el comportamiento de ambas con los valores de tres lotes representativos de la producción general.

Las dos estrategias ofrecen buenos resultados, pero con la segunda son ligeramente mejores y es más fácil de implementar siendo esta la que se decidió incorporar.

Palabras Clave: control adaptativo, control estadístico de procesos, ponderación exponencial, reducción de la variabilidad.

1. INTRODUCCIÓN

La variabilidad es una preocupación permanente en todos los procesos de producción. Su control puede abordarse a través de las técnicas de control estadístico de procesos cuyo objetivo es detectar las variaciones provocadas por la aparición de causas especiales (causas asignables). Identificada la causa se pueden tomar las acciones correctoras adecuadas y volver el proceso a su estado de variación natural. En otros casos las desviaciones observadas tienen una componente no aleatoria que responde a tendencias o fluctuaciones de las que no se consigue identificar las causas y, por tanto, no pueden ser atacadas de forma directa. Afortunadamente muchos de los procesos actuales permiten recoger datos pieza a pieza y en función de los valores obtenidos introducir las correcciones adecuadas para lograr los valores deseados. Es lo que se denomina control adaptativo de procesos y es en este contexto donde se sitúa el presente trabajo.

Se trata del proceso de fabricación de un componente del sistema de frenado del automóvil que requiere mucha precisión en sus cotas críticas ya que pequeñas variaciones producen cambios importantes en sus prestaciones. Una de esas cotas es la distancia A (Fig. 1) entre el extremo de un vástago –llamado puntalino– y la parte superior de la carcasa donde se aloja todo el mecanismo.

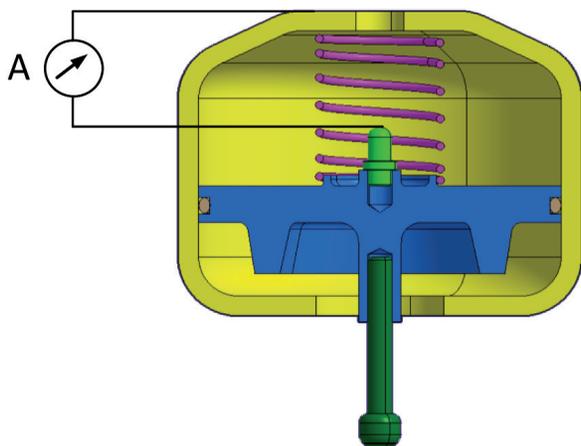


Fig. 1: Esquema del mecanismo considerado con indicación de la cota crítica A

Debido a su forma de construcción y montaje, que incluye realizar el vacío de su interior, la carcasa presenta una variabilidad en sus dimensiones que no es compatible con la precisión requerida en la cota A. Para resolver este problema, en cada unidad se mide la cota B (Fig. 2) antes de introducir el puntalino y en función de ese valor se le somete a una fuerza F que lo deforma hasta dejarlo con una longitud C de forma que una vez colocado dentro del mecanismo se consiga un valor de la cota A dentro de tolerancias.

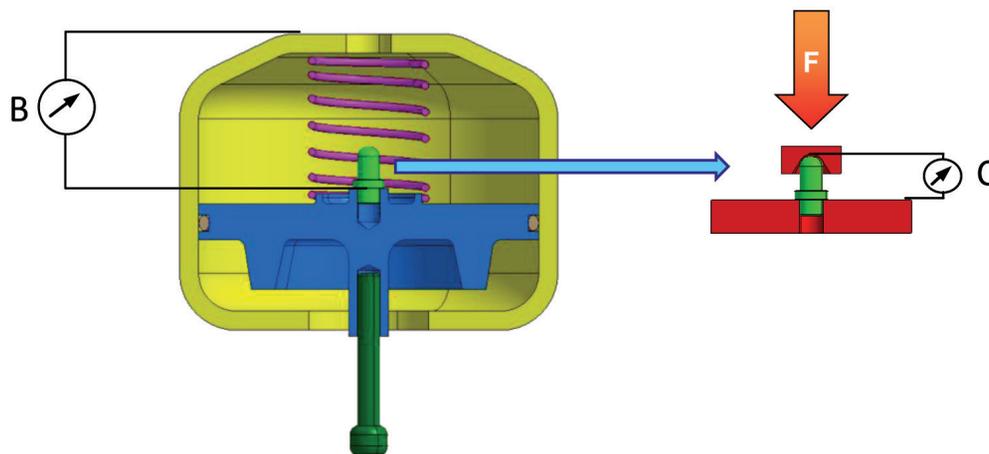


Fig. 2: Esquema del mecanismo considerado. Cota B y deformación del puntalino antes de su inserción

Con el actual criterio para calcular la fuerza que se aplica a cada puntalino se producen, por razones desconocidas, desviaciones en el valor medio de la cota A. Se ha analizado cuales son los factores que pueden afectar a la fluctuación del valor medio (posibles desajustes en la máquina que comprime el puntalino, derivas en los aparatos de medida, variables ligadas a condiciones ambientales...) pero ninguna de ellas ha logrado explicarla.

El proyecto que aquí se describe tiene como objetivo eliminar la parte de variabilidad debida a las fluctuaciones en el valor medio de la cota A mediante la incorporación de un nuevo ajuste pieza a pieza, adicional a los que ya se realizan. Obviamente, también se pretende que esa corrección adicional no aumente la variabilidad por problemas de sobreajuste ya que si se corrigen desviaciones que son aleatorias e inevitables, en realidad lo que se hace es aumentar la variabilidad [1].

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Se dispone de los valores que muestran la evolución de la cota crítica A en los tres últimos lotes de producción (Fig.3), los cuales se consideran representativos de producción en general y que reflejan claramente el problema. El valor objetivo de estas medidas es 12,50, y se observa claramente

como las desviaciones de este valor tienen un componente de cambio de tendencia además de la variabilidad aleatoria. El escenario ideal para obtener un producto de máxima calidad será centrar la secuencia en 12,50 reduciendo de esta forma la variabilidad global.

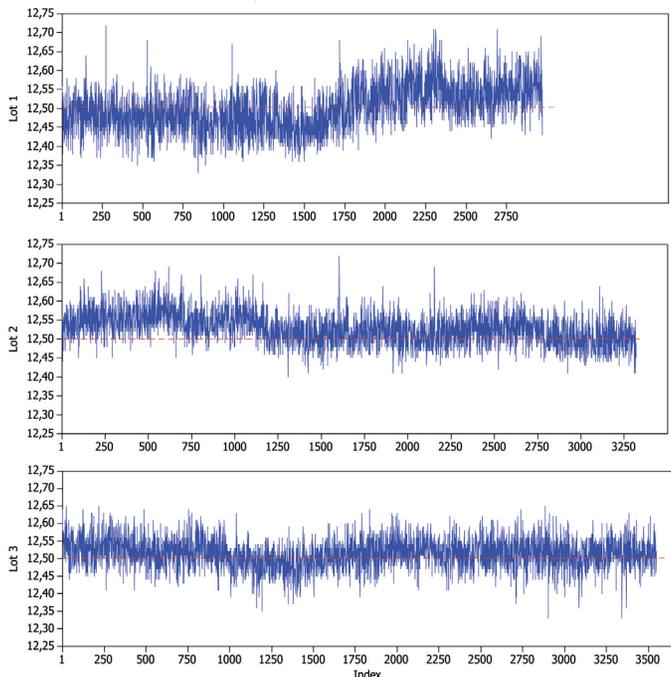


Fig. 3: Valores de la cota crítica en los tres últimos lotes

Para tener una referencia sobre cuál será la variabilidad si se elimina la fluctuación se ha considerado que en un grupo de 50 observaciones seguidas se puede asumir que toda la variabilidad es debida a la variación en torno a la media, ya que dicha media presenta una inercia al cambio y no le da tiempo de moverse en tan corto espacio de tiempo. Así pues, como estimación de la varianza que se tendría en cada lote si no hubiera fluctuaciones se ha tomado el promedio de las varianzas de grupos de 50 observaciones consecutivas. Se ha probado también para otros tamaños de grupo en torno al valor elegido y las diferencias no son relevantes.

En la Tabla 1 se encuentra la variabilidad -medida a través de la desviación típica- que presenta cada uno de los lotes

	Número total de datos	Media	Variabilidad (desviación típica)	
			Situación de partida	Valores objetivo (eliminando fluctuaciones)
Lote 1	2969	12,501	0,0601	0,0482
Lote 2	3318	12,528	0,0419	0,0361
Lote 3	3546	12,514	0,0429	0,0402

Tabla 1: Situación de partida y valores objetivo para la variabilidad de los lotes de referencia

(situación de partida) y la que se obtendría si se eliminaran las fluctuaciones (valor objetivo). Por ejemplo, para el lote 1 que consta de 2969 datos cuya media es de 12,501 y desviación típica de 0,0601, se tendría una desviación típica de 0,0482, si se lograran eliminar las fluctuaciones en la media.

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 [2], 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 se pretende detectar para actuar sobre el proceso (actuación 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 utilizando técnicas inspiradas en el control adaptativo de procesos [3] adaptándolas a los requerimientos y recursos disponibles en nuestra línea de montaje.

Se han considerado dos tipos de estrategia, la primera es aplicar una corrección en función de la media móvil y la segunda es aplicar la corrección en función de la diferencia entre el valor de la última pieza fabricada y el valor objetivo.

2.1. 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 4).

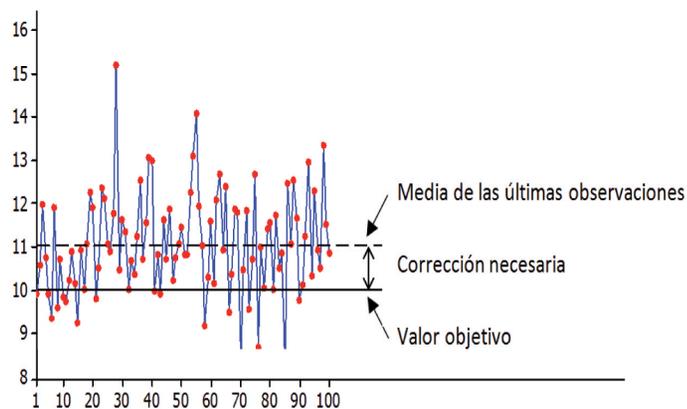


Fig. 4: Corrección en función del valor medio de las últimas observaciones (se supone que el valor objetivo es 10)

Por tanto, la estrategia consiste en introducir una corrección igual a la diferencia entre el promedio de las últimas n observaciones y el valor objetivo, tal como se indica en la Tabla 2, en la que T es el valor objetivo y $\bar{y}_{i,j}$ es el promedio de valores entre las observaciones y_i e y_j .

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

Tabla 2: Estrategia de corrección en función de la media móvil con longitud n , T es el valor objetivo, y $\bar{y}_{i:n}$ es el promedio de valores entre las observaciones y_i e y_j

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

- Número de valores anteriores que se contemplan en el ajuste (n): si n se fija a 1 significa que solo se contempla el valor anterior.
- 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 [4], 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 (Fig. 1) 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: valor objetivo $\pm k$.
- Umbral de corrección (u): introducir correcciones muy pequeñas puede significar introducir correcciones en un proceso que ya está centrado, provocando un aumento de la variabilidad por sobreajuste. Se ha planteado, establecer un umbral mínimo a partir del cual se realizará la corrección, es decir solo se corrige cuando la corrección necesaria es mayor a u , y en el caso particular de $u=0$ significa que se corrige siempre.

Mediante un programa escrito en R [5] (ver anexo) se ha determinado la combinación de valores de los parámetros que minimizan la variabilidad para los datos de cada lote. La Tabla 4 contiene los rangos e incrementos aplicados a cada parámetro (en general, estos valores deberán adaptarse en cada caso de acuerdo con el problema y sus unidades de medida). En la Tabla 5 se presentan los valores óptimos de cada parámetro para cada lote.

Parámetro	Descripción	Rango	Incremento
n	Valores que intervienen en el cálculo del ajuste	1 - 120	5
p	Factor de ponderación	0 - 1	0,01
k	Frontera para consideración de anomalía	0,1 - 0,2	0,01
u	Umbral de corrección	0 - 0,05	0,01

Tabla 4: Valores analizados con la estrategia tipo "medias móviles"

Atendiendo a la sensibilidad de la desviación típica respecto a los valores de los parámetros se han fijado unos valores de compromiso para cualquier serie de datos. Así, el valor elegido para n ha sido 50, ya que aunque se aleja de los que aparecen como óptimos para los lotes 1 y 3 ($n=105$ y 75 respectivamente), la variabilidad es poco sensible a la cantidad de datos empleados fijando el resto de parámetros en su valor óptimo. Concretamente la desviación tipo obtenida en el rango comprendido entre $n=30$ y $n=120$ para el lote 1 se encuentra entre 0.0492 y 0.0494 y para el lote 2 entre 0.0413 y 0.0415.

La diferencia de variabilidad entre los valores obtenidos para $p=0,95$ y $p=1$ es prácticamente nula por lo que, en aras de la sencillez, se ha optado por $n=1$, con lo cual se realiza una media móvil ponderando por igual todos los valores considerados. De forma similar se ha fijado $k=0,15$, y $u=0$, es decir conviene ajustar siempre. El valor de 0,01 para u que aparece con los datos del lote 2 introduce una mejora que no es relevante.

Por tanto, los parámetros de corrección que se proponen son: $p=1$, $n=50$, $k=0,15$ y $u=0$. Con estos valores, las variabilidades obtenidas para cada lote son las que se indican en la Tabla 5, donde se puede observar que -por ejemplo- para el lote 1 que partía de una desviación inicial de 0.0601 y una desviación objetivo de 0.0482, utilizando los parámetros óptimos específicos para ese lote la variabilidad inicial se reduce hasta 0.0492 y utilizando los valores generales de compromiso válidos para cualquier lote se obtiene el valor de 0.0494, es decir, prácticamente el mismo.

	Valores óptimos				Desviación típica	
	p	n	k	u	Con los parámetros óptimos para el lote	Con los parámetros de compromiso ($p=1, n=50, k=0,15, u=0$)
Lote 1	0,96	105	0,2	0	0,0492	0,0494
Lote 2	0,98	45	0,1	0,01	0,0370	0,0371
Lote 3	0,98	75	0,1	0	0,0413	0,0414

Tabla 5: Combinación óptima de los valores de los parámetros para cada lote y variabilidad final con la estrategia tipo "medias móviles"

2.2. CORRECCIÓN EN FUNCIÓN DE LA ÚLTIMA DIFERENCIA

Esta estrategia consiste en introducir una corrección proporcional a la diferencia entre el último valor obtenido y el valor objetivo. Esta corrección se va actualizando con la información que aporta cada nueva observación tal como se indica en la Tabla 3.

i	Valor sin corrección	Corrección	Valor corregido
1	y_1	$C_1 = 0$	$y_1^c = y_1 + C_1$
2	y_2	$C_2 = C_1 + f(T - y_1^c)$	$y_2^c = y_2 + C_2$
3	y_3	$C_3 = C_2 + f(T - y_2^c)$	$y_3^c = y_3 + C_3$
4	y_4	$C_4 = C_3 + f(T - y_3^c)$	$y_4^c = y_4 + C_4$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
n	y_n	$C_n = C_{n-1} + f(T - y_{n-1}^c)$	$y_n^c = y_n + C_n$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

Tabla 3: Estrategia de corrección en función de la última diferencia, T es el valor objetivo y f el factor de corrección

Los parámetros considerados para la aplicación de esta estrategia son:

- Frontera para anomalías (k): no se incluyen en el cálculo del ajuste los valores que están fuera del intervalo: valor objetivo $\pm k$. Este parámetro es común a la estrategia de “media móviles”.
- 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 el factor de corrección van de $f=0$, situación en la que no se aplica corrección, hasta $f=1$, en que la corrección añadida en cada paso es igual a la diferencia entre la última observación y el valor objetivo.

Tal como se ha realizado en la estrategia anterior, para cada lote se han calculado los valores de los parámetros que minimizan la variancia y posteriormente se han seleccionado unos valores de compromiso. Asimismo, en el anexo se encuentra el código del programa utilizado para identificar esos valores escrito en lenguaje R (Disponible en: <http://cran.r-project.org>).

La Tabla 6 contiene los rangos e incrementos aplicados a cada parámetro y la Tabla 7 los valores óptimos

de cada uno de ellos para cada lote así como la desviación típica obtenida utilizando estos valores.

Parámetro	Descripción	Rango	Incremento
k	Frontera para consideración de anomalía	0,1 – 0,2	0,01
f	Factor de corrección	0 – 1	0,01

Tabla 6: Valores analizados con la estrategia tipo corrección en función de la “última diferencia”

El valor elegido para f ha sido 0,04, que es el valor común a los tres lotes. Respecto a k existen diferencias entre los valores que proporcionan la mínima variabilidad, pero la curva que relaciona la desviación típica con el valor de k es muy plana y los resultados obtenidos prácticamente no dependen de este valor se encuentra entre 0,10 y 0,20, por lo que se ha escogido como valor de compromiso $k=0,15$.

	Valores óptimos		Desviación típica	
	f	k	Con los parámetros óptimos para el lote	Con los parámetros de compromiso ($f=0,05$ y $k=0,15$)
Lote 1	0,04	0,19	0,0491	0,0491
Lote 2	0,04	0,14	0,0368	0,0368
Lote 3	0,04	0,10	0,0411	0,0411

Tabla 7: Combinación óptima de los valores de los parámetros para cada lote y variabilidad final con la estrategia tipo “última diferencia”

3. RESULTADOS

Ambas estrategias ofrecen una reducción substancial de la variabilidad así como un acercamiento notable hacia el

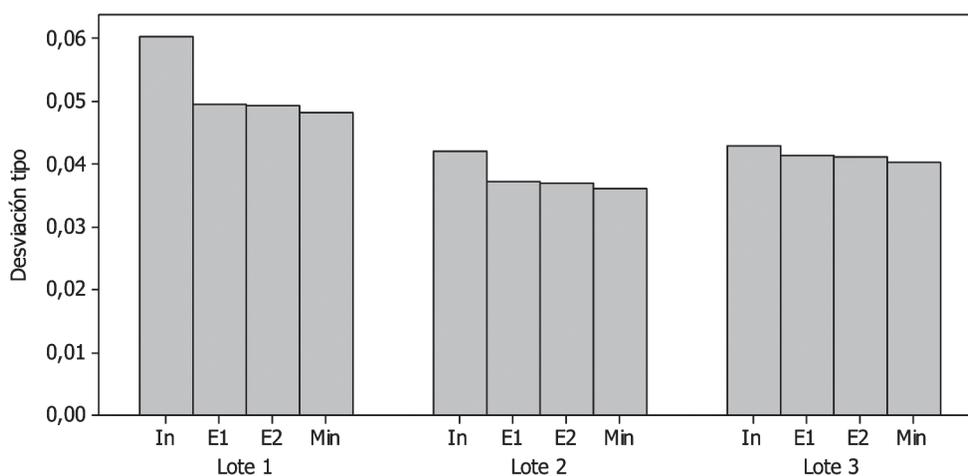


Fig. 5: Comparación de las variabilidades (desviación típica) inicial (In), mínima posible (Min) y las obtenidas con las estrategias E1: “media móviles” y E2: “última diferencia”

valor mínimo posible. No obstante la estrategia de ajuste en función de la “última diferencia” presenta mejores propiedades.

En primer lugar cabe destacar que los resultados para la estrategia “última diferencia” son ligeramente mejores que la estrategia tipo “medias móviles”. La Figura 5 muestra las variabilidades (medidas a través de la desviación típica) obtenidas en cada lote con cada estrategia comparándolas con los valores iniciales y el que ha sido fijado como mínimo posible. Ambas estrategias disminuyen la variabilidad inicial y se acercan a la cota de la variabilidad objetivo y en los tres lotes la estrategia “última diferencia” consigue valores ligeramente inferiores a la media móvil.

Además de la mejora en términos numéricos la estrategia “última diferencia” presenta otras ventajas respecto la estrategia “medias móviles”. En primer lugar es más fácil de implementar, ya que depende de menos parámetros y requiere menos cálculos. En segundo lugar no precisa hacer la hipótesis de que el ajuste que se introduce no modifica la tendencia inicial de los datos, dado 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. Otra ventaja es que inicia antes la corrección, sin necesidad de esperar a que se fabriquen un número de piezas igual a la longitud de la media móvil (n).

La Fig. 6 representa los valores obtenidos aplicando la estrategia de corrección en función de la “última diferencia” utilizando los valores de compromiso ($f=0.04$ y $k=0.15$). Comparando esta figura con la Fig. 3 (datos originales) se pone de manifiesto la notoria mejora obtenida.

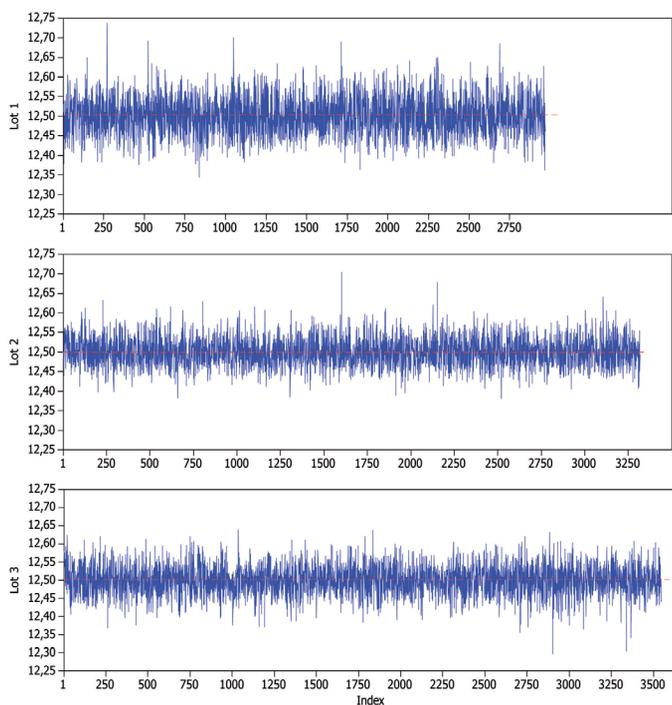


Fig. 6: Valores que se hubieran obtenido aplicando la estrategia de corrección en función de la “última diferencia”

4. DISCUSIÓN

Cuando existen mecanismos de ajuste unidad a unidad es posible reducir la variabilidad de una característica de calidad a base de eliminar fluctuaciones en su valor medio aplicando técnicas de lo que en la literatura especializada se conoce como control adaptativo de procesos [1,3]. Las técnicas del control adaptativo de procesos son poco utilizadas en la práctica y algunos autores las señalan como líneas de investigación prometedoras [5,6]. Este trabajo muestra un caso práctico y facilita el código que, adaptado a cada caso, permite determinar los ajustes propuestos. Una vez aplicada la corrección los datos presentan una baja auto-correlación con lo que se pueden utilizar a posteriori gráficos de control clásicos [4] para monitorizar el proceso y detectar posibles cambios.

Las dos estrategias presentadas reducen substancialmente la variabilidad inicial y se acercan al valor mínimo posible. La estrategia “última diferencia” obtiene mejores resultados que la estrategia de “medias móviles” y se ha observado que es más robusta a variaciones respecto a valores compromiso de los parámetros, presentándose así como una sencilla y potente herramienta para la mejora de la calidad.

Esta estrategia consiste simplemente en realizar para cada unidad una corrección que sea proporcional a la diferencia entre el valor objetivo y el último valor obtenido. En nuestro caso se ha aplicado para conseguir una reducción en la variabilidad de una cota crítica en un componente mecánico, pero su aplicación sería idéntica en otras situaciones análogas como pueden ser procesos de envasado donde se puede ajustar el peso unidad a unidad, o de recubrimiento superficial de un producto donde es necesario controlar el espesor, o cualquier característica con un valor medio que tienda a fluctuar.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Carles Gandía, Arnau Planas y Josep Ruiz, de Bosch Sistemas de Frenado S.L. su inestimable colaboración en la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Montgomery DC, Keats JB, Runger GC et al. "Integrating Statistical Process Control and Engineering Process Control" *Journal of Quality Technology*. April 1994. Vol. 26, No. 2 p.79-87.
- [2] Ryan TP. *Statistical Methods for Quality Improvement*. 3 Edition. Wiley. 2011. 704p. ISBN: 978-0470590744.
- [3] Box G, Luceño A. *Statistical Control by Monitoring and Feedback Adjustment*. First edition. Wiley-Interscience. 1997. 327p. ISBN: 978-0471190462.
- [4] Montgomery DC. *Introduction to Statistical Quality Control*. 4th Edition. Wiley. 2001. 796p. ISBN: 0-471-31648-2

[5] Shainin R. "Statistical Engineering: Six Decades of Improved Process and Systems Performance". Quality Engineering. April 2012. Vol 24, No 2, p.171-183. DOI: 10.1080/08982112.2012.654324.

[6] Stoumbos Z, Reynolds R, Ryan T, Woodall, W. "The State of Statistical Process Control as We Proceed into the 21st Century". Journal of the American Statistical Association. September 2000. Vol. 95, No. 451 p.992-998

ANEXO

A continuación se presentan los códigos programados para la evaluación de las dos estrategias. Dichos códigos han sido programados mediante el software de libre distribución R, disponible en la página web: <http://cran.r-project.org>. Para su implementación en una primera iteración hay que encontrar los parámetros que minimizan la variabilidad. Y una vez seleccionados estos parámetros se deben utilizar en los nuevos datos (valores unidad a unidad) para aplicar la corrección.

ESTRATEGIA TIPO "MEDIAS MÓVILES"

```
# PARAMETROS DE ENTRADA
# y:  datos originales sin ajustar
# T:  valor objetivo
# p:  factor ponderación
# n:  tamaño de la media móvil
# k:  frontera para anomalías
# u:  umbral de corrección

estrategia1 <- function(y, T, p, n, k, u) {

  N <- length(y)
  ya <- rep(0, N)
  C <- rep(0, N)
  ya[1:n] <- y[1:n]

  for (t in n:N) {
    ya[t] <- y[t] + C[t-1]  ## con datos a tiempo
    este paso no es necesario
    # y[t] <- ya[t] - C[t-1] ## con datos a tiempo
    este paso es necesario
    if (abs(T-ya[t])>k) y[t] <- NA
    y.aux <- na.omit(y[(t-n+1):t])
    n.aux <- length(y.aux)

    # pesos de la ponderación
    if (n.aux>0) {
      wt <- rep(1, n.aux)
      den <- 0
      for (j in 1:n.aux) { den <- p^j + den }
      for (j in 1:n.aux) { wt[(n.aux+1-j)] <- (n.aux*(p^j))/den }
    }
    if (abs(T-weighted.mean(y.aux, wt))>u) C[t] <- T-weighted.mean(y.aux, wt)
  }

  SSE <- sd(ya)
  SORTIDA <- list(ya=ya, y=y, C=C, SSE=SSE)
}

# PARÁMETROS DE SALIDA
# y:  datos originales
# ya:  valores corregidos
# C:  corrección
# SSE:  desviación típica
```

ESTRATEGIA TIPO "ÚLTIMA DIFERENCIA"

```
# PARAMETROS DE ENTRADA
# y:  datos originales sin ajustar
# T:  valor objetivo
# f:  factor corrección
# k:  frontera para anomalías

estrategia2 <- function(y, T, f, k) {

  N <- length(y)

  ya <- rep(0, N)
  C <- rep(0, N)

  ya[1] <- y[1]

  for (t in 2:N) {
    aux <- f*(T-ya[t-1])
    if (abs(T-ya[t-1])>k) aux <- 0
    C[t] <- C[t-1] + aux
    ya[t] <- y[t] + C[t]  ## con datos al tiempo este
    paso no es necesario
  }

  SSE <- sd(ya)
  SORTIDA <- list(ya=ya, y=y, C=C, SSE=SSE)
}

# PARÁMETROS DE SALIDA
# y:  datos originales
# ya:  valores corregidos
# C:  corrección
# SSE:  desviación típica
```