
CONTROL CUANTITATIVO DE LA CALIDAD EN UNA EMPRESA DEL SECTOR SERVICIOS

María Isabel López Rodríguez¹
maria.i.lopez@uv.es

Ernesto Guerola Adell
ernesto_guerola@hotmail.com

Universitat de València

fecha de recepción: 24/03/2014
fecha de aceptación: 15/05/2014

Resumen

En el presente trabajo se aplican herramientas de Control Estadístico de Calidad, habitualmente utilizadas en procesos productivos, a una empresa dedicada a la auditoría y que por tanto pertenece al sector servicios. La elección de las herramientas utilizadas (gráficos de control, indicadores de capacidad, función de pérdida de Taguchi...) obedece a la necesidad de controlar si se cumple el objetivo de la empresa de realizar la auditoría a la empresa cliente 7 días antes de la fecha teórica, lo que conlleva una disminución de costes. También se cuantifica la pérdida que produce el incumplimiento de dicho objetivo y se proponen medidas correctoras que disminuyen la variabilidad del proceso y aumenten la competitividad de la empresa.

Palabras clave: Gráficos de control; Análisis de capacidad; Función de pérdida de Taguchi; Control de calidad; Sector servicios; Análisis cuantitativo.

Abstract

In this work we apply Statistical Quality Control tools, often used in production processes, to an audit company that as such belongs to the service industry. The tools employed (control graphs, capacity indicators, Taguchi loss function...) are chosen to confirm whether the company audits 7 days before the set date in order to reduce costs. Losses associated to failure are quantified and correction measurements proposed to reduce the variability of the process and increase the company competitiveness.

¹ Departamento de Economía Aplicada, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universitat de València, Avda. Tarongers s/n, 46022, Valencia (España).

Keywords: Control graphs; Capacity analysis; Taguchi loss function; Quality control; Service industry; Quantitative analysis.

1. Introducción

La aplicación de las técnicas de Control Estadístico de Calidad ha demostrado sobradamente los beneficios generados en cualquier sistema productivo, al proporcionar la información necesaria que permite identificar las causas de un exceso de variabilidad, permitiendo con ello proponer acciones correctivas que mejoren dicho proceso.

Aunque su uso se ha extendido en empresas que pertenecen, mayoritariamente, al sector producción (Clemente Marín, Miró y Martínez, y Sanchos Rico, 2001; Huerga Castro, Blanco Alonso y Abad González, 2005), aumentando su competitividad al mantener un alto nivel de calidad en sus productos, el uso de estas técnicas no se limita a empresas de dicho sector, tal y como demuestran algunas de las investigaciones llevadas a cabo en los últimos años (Riu, 2005; Huerga Castro, Abad González y Blanco Alonso, 2012; González López, Bañegil Palacios y Buenadicha Mateos, 2013).

Así, el presente trabajo, siguiendo la línea de éstos últimos, propone la aplicación de dichas técnicas a una empresa del sector servicios, analizando si se alcanzan algunos de los objetivos marcados por la Dirección de la misma a sus empleados, cuantificando la no consecución de los mismos y proponiendo medidas que disminuyan los costes derivados de dicho incumplimiento.

Concretamente la empresa objeto de análisis es una empresa multinacional con sede social en Ginebra (Suiza), especializada en el sector de la inspección, verificación, ensayos y certificación. Actualmente está dotada con una plantilla de más de 75.000 empleados, y cuenta con más de 1.500 oficinas distribuidas en más de 120 países en los que opera.

Se trata, por tanto, de una gran empresa del sector servicios, lo que, como se indicó anteriormente, proporciona un valor añadido al trabajo que se presenta, pues un alto porcentaje de los estudios que se han venido realizando, haciendo uso de las técnicas de Control Estadístico de Calidad, se engloban dentro del sector de la Producción.

En este estudio, se pretende controlar la siguiente variable:

X = "número de días que se anticipa la auditoría a una empresa cliente con respecto a la fecha teórica".

La justificación de la variable seleccionada radica en el objetivo que la empresa impone a sus auditores, consistente en realizar la auditoría a la empresa cliente 7 días antes de la fecha que por normativa legal se debe realizar, denominada fecha teórica (FT). Dicho objetivo obedece a motivos económicos, pues su logro permite maximizar beneficios y reducir costes (al poder facturar con anterioridad a la empresa cliente y disminuir el coste de potenciales imprevistos de última hora).

El control sobre **X** se lleva a cabo haciendo uso de los gráficos de control, lo que permite, además, llevar a cabo un análisis de la capacidad así como cuantificar la pérdida derivada del incumplimiento de la calidad, esto es, los costes que le suponen a la empresa el hecho de que los auditores no consigan el objetivo marcado por la compañía.

Dicha cuantificación es posible utilizando la función de pérdida de Taguchi, teniendo en cuenta además que, debido a temas de confidencialidad, los costes derivados de la no calidad deben de entenderse como costes mínimos, pues la información aportada por la compañía hace referencia a la pérdida mínima ocasionada.

Así, la estructura del trabajo es la siguiente: en el epígrafe 2 se realiza una breve exposición de las distintas técnicas de Control Estadístico de Calidad que van a utilizarse, y los epígrafes 3 y 4 se dedican a la exposición de la toma y tratamiento de datos, así como a la obtención y análisis de los resultados obtenidos al aplicar las diferentes técnicas a dichos datos.

2. Metodología

Tal y como se ha indicado en el epígrafe anterior las herramientas que se utilizan en el presente trabajo son los gráficos de control, que permiten realizar, tras su obtención e interpretación, un análisis de la capacidad del proceso. Además se considera la función propuesta por Taguchi para cuantificar la pérdida debida a la no calidad, esto es, la que se debe al incumplimiento del objetivo marcado.

2.1. Gráficos de control

Los gráficos de control, también denominados gráficos de Shewarth, por ser debidos a dicho autor, tienen como principales áreas de aplicación (Ishikawa, 1994: 188-196) controlar el proceso y analizar el mismo, lo que se traduce en que mediante su uso se puede:

- Identificar el proceso, esto es, estimar los parámetros desconocidos. Por ejemplo, en el caso del control por variables se estima la media (μ) y la desviación típica (σ).
- Realizar un análisis de la capacidad del mismo.
- Comprobar si, a lo largo del tiempo, el proceso se mantiene bajo control (extrayendo, en la evolución temporal, muestras del mismo tamaño a las utilizadas para la construcción del gráfico).

Para ello, se ha de partir de un proceso bajo control, esto es, de un proceso en el que se han eliminado las causas asignables (de carácter no aleatorio) y tan sólo intervienen las no asignables (de carácter aleatorio).

Por otra parte, hay que tener en cuenta que los gráficos de control analizan la evolución de una característica de calidad a lo largo del tiempo y están compuestos por tres líneas: Límite de Control Inferior (LCI), Línea Central (LC) y Límite de Control Superior (LCS), estando los LCI y LCS a una distancia igual a 3σ de la línea central.

Así, el parámetro de la característica que está siendo controlada debe dar valores entre los LCI y LCS para poder admitir que el proceso se mantiene bajo control.

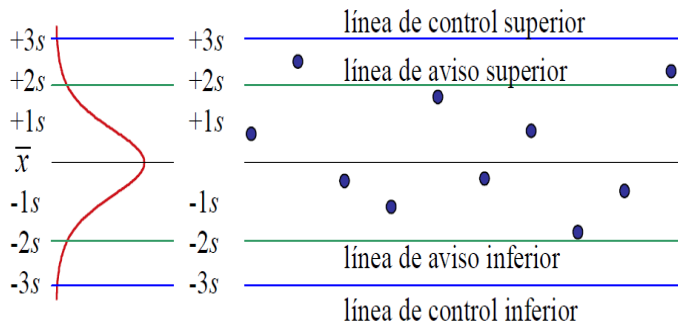
A pesar de ello, pueden darse una serie de situaciones que indican que el proceso debe ser controlado más férreamente. A modo de ejemplo, si se consideran las líneas de aviso superior (LSA) e inferior (LIA), a una distancia 2σ , cada una de ellas, de la línea central, quedaría determinada una zona de aviso compuesta por la zona comprendida entre la LCI y la LIA y la LCS y la LSA, esto es:

$$\text{Zona de aviso} = [\text{LCI}, \text{LIA}] \cup [\text{LSA}, \text{LCS}]$$

de manera que si al representar el parámetro en el gráfico, éste se encuentre en la zona de aviso, cabría plantearse el correcto funcionamiento del proceso.

La gráfica que sigue ilustra lo indicado:

Gráfico 1. Líneas de aviso y de control en un gráfico de control



Fuente: Riu (2005).

Por otra parte, atendiendo al tipo de la característica de calidad que se desea controlar (variable o no) los gráficos de control que se suelen utilizar son:

- Si la característica de calidad es medible (variable)
 - El Gráfico de Medidas Individuales (\bar{X})
 - El Gráfico Media - Recorrido (\bar{X} / R)
 - El Gráfico Media - Desviación (\bar{X} / S)

- Si la característica de calidad no es medible o bien se está interesado en el número de defectos:
 - El Gráfico **p**
 - El Gráfico **np**
 - El Gráfico **c**
 - El Gráfico **u**

Dado que en el trabajo que se presenta la característica que se controla es medible, la exposición a partir de aquí se centra en los gráficos de control para este caso. Así, la Tabla que sigue recoge la expresión de las líneas de los mismos:

Tabla 1. Líneas de los gráficos de control para variables

GRÁFICO	LÍNEAS	
De Medidas Individuales	LCI: $\bar{X} - 3\frac{\overline{MR}}{d_2}$ LC: \bar{X} LCS: $\bar{X} + 3\frac{\overline{MR}}{d_2}$	
Media-Recorrido	Gráfico de Media	Gráfico de Recorrido
	LCI: $\bar{X} - A_2\bar{R}$ LC: \bar{X} LCS: $\bar{X} + A_2\bar{R}$	LCI: $D_3\bar{R}$ LC: \bar{R} LCS: $D_4\bar{R}$
Media-Desviación	Gráfico de Media	Gráfico de Desviación
	LCI: $\bar{X} - A_3\bar{S}$ LC: \bar{X} LCS: $\bar{X} + A_3\bar{S}$	LCI: $B_3\bar{S}$ LC: \bar{S} LCS: $B_4\bar{S}$

Donde dichas expresiones corresponden a las que se obtienen a partir de la estimación de los parámetros μ y σ . Concretamente:

- Para el Gráfico de Medidas Individuales, μ se ha estimado considerando la media de n medidas individuales (medidas que equivaldrían a tomar n muestras de tamaño 1), entonces:

$$\hat{\mu} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n} = \bar{X}$$

Y para estimar σ se considera

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

Donde \overline{MR} es la media de los rangos móviles de cierta longitud mayor o igual a 2. Así si, por ejemplo, la longitud del rango móvil fuese 2, entonces se considera el rango móvil como

$$MR_i = |X_i - X_{i-1}|$$

Y, por tanto:

$$\overline{MR} = \sum_{i=2}^n \frac{MR_i}{n-1}$$

- Para el Gráfico de Media-Recorrido, μ se ha estimado considerando el estimador "media de las medias muestrales". Esto es, si se han considerado k muestras y $\overline{X}_1, \overline{X}_2, \dots, \overline{X}_k$ son las medias correspondientes, entonces:

$$\hat{\mu} = \frac{\overline{X}_1 + \overline{X}_2 + \dots + \overline{X}_k}{k} = \overline{\overline{X}}$$

Y la desviación típica poblacional (σ) a partir del estimador dependiente del recorrido muestral, esto es, teniendo en cuenta que el recorrido R de una muestra se define como la diferencia entre los valores máximo y mínimo de la misma:

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

si se consideran k muestras y R_1, R_2, \dots, R_k son los recorridos correspondientes, se tomará como estimador de σ :

$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{R}}{d_2}$$

donde:

$$\overline{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k}$$

- Para el Gráfico de Media-Desviación μ se ha estimado del mismo modo que en el gráfico anterior:

$$\hat{\mu} = \overline{\overline{X}}$$

Y σ a partir del estimador dependiente de la desviación típica muestral S , obedeciendo S , para muestras de tamaño n a la siguiente expresión:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \overline{X})^2}{n-1}}$$

De manera que consideradas k muestras, si S_1, S_2, \dots, S_k son las desviaciones típicas, se tomará como estimador de σ :

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{c_4}$$

con

$$\bar{S} = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_k}{k}$$

Además, d_2 y c_4 son constantes que dependen del tamaño muestral (contenidas en la Tabla 2 del Anexo, en la que también se reflejan los valores de las constantes A_2, A_3, B_3, B_4, D_3 y D_4). Debe tenerse en cuenta que en el Gráfico de Medidas Individuales el tamaño de la muestra considerado (para determinar el valor de d_2) se corresponde con la longitud del rango móvil.

Indicar, además, que los estimadores considerados en estos dos últimos gráficos son insesgados, pues

$$E\left(\bar{X}\right) = \mu, \quad E\left(\frac{\bar{R}}{d_2}\right) = \sigma \quad \text{y} \quad E\left(\frac{\bar{S}}{c_4}\right) = \sigma$$

Además, se suele utilizar el Gráfico de Media-Recorrido cuando el tamaño de las muestras es inferior o igual a 10 y el Gráfico de Media-Desviación en caso contrario.

2.2. Capacidad del proceso

Una vez obtenido el gráfico de control por variables e identificado el proceso, es decir habiéndose estimado μ y σ se puede proceder a realizar un estudio de la capacidad del proceso. Concretamente, se pretende analizar si éste, estando bajo control, cumple las especificaciones.

Para ello se hace uso de los índices de capacidad:

Índice de capacidad potencial:
$$C_p = \frac{LTS - LTI}{6\sigma}$$

Índice de capacidad real:
$$C_{pk} = \min\left(\frac{LTS - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LTI}{3\sigma}\right)$$

Siendo [LTI, LTS] el intervalo de tolerancia, esto es, el intervalo que marca las especificaciones, pues se dice que el proceso las cumple si la variable de calidad a controlar (X) verifica que:

$$LTI \leq X \leq LTS$$

Puede observarse, por tanto, que mientras el primer índice no tiene en cuenta el posible descentramiento del proceso, esto es, si μ coincide o no con b , siendo b el valor objetivo fijado para la variable X a controlar, el segundo sí tiene en cuenta ese posible descentramiento y proporciona información acerca de si el incumplimiento es con respecto al LTI, al LTS o a ambos. Es, por tanto, recomendable utilizar el C_P si el proceso está centrado y el C_{PK} si está descentrado.

Además, aunque en principio si el C_P es superior o igual a la unidad, el proceso produciría un 2,7 por mil de unidades defectuosas, en términos de calidad se suele exigir que sea superior o igual a 1,33.

2.3. Función de pérdida de Taguchi

Para el cálculo de los costes derivados de la no calidad se hará uso de la expresión correspondiente a la función de pérdida propuesta por Taguchi (López Ruiz, 2003: 77), esto es:

$$L(x) = K(x-b)^2$$

siendo:

- b el valor objetivo.
- K el coeficiente de pérdida

A partir de dicha función se puede obtener la pérdida media unitaria, que respondería, atendiendo a las propiedades del operador esperanza, a la siguiente expresión:

$$E[L(x)] = K(\sigma^2 + (\mu - b)^2) \quad (1)$$

donde

- μ es la media estimada.
- σ es la desviación típica estimada.

A partir de (1) se pone de manifiesto la teoría del ingeniero japonés Genichi Taguchi, quien estableció que un punto importante para conseguir el equilibrio entre el coste de producción y el valor del producto para el consumidor final, es controlar la variabilidad del proceso, así como el descentramiento del mismo (medido como $(\mu - b)$), de manera que cuanto más elevados sean estos dos factores mayor será el aumento de los costes.

3. Recogida y tratamiento de datos

La información utilizada se ha obtenido a través de datos aportados por los auditores (freelance o autónomos) de la empresa y cotejados con la documentación proporcionada por ésta. El trabajo de campo se llevó a cabo a lo largo del segundo trimestre de 2013 y a partir de la información obtenida se ha elaborado una base de datos, conteniendo la siguiente información:

- Empresa cliente
- Nombre del auditor encargado de auditar a la empresa cliente
- Tipo de auditoría (certificación, renovación, etc.)
- Tipo de certificado expedido (calidad, medio ambiente, etc.)
- Fecha en que debía realizarse la auditoría (FT)
- Fecha en la que el auditor iba a realizar la auditoría, denominada fecha real (FR)

Tras la elaboración de la base de datos, se han extraído al azar para cada día del que se disponía de información, 33 muestras de tamaño 4, obteniendo para cada dato muestral el valor de la variable X , esto es, la diferencia entre la FT y FR (recuérdese que el objetivo de la empresa era que dicha diferencia fuera igual a 7, esto es, que la auditoría se adelantará, con respecto a la FT, en 7 días).

El tamaño de las muestras ha venido condicionado por la disponibilidad de la información y por la necesidad de extraer muestras del mismo tamaño, de manera que fueran de aplicación las técnicas expuestas anteriormente.

4. Resultados

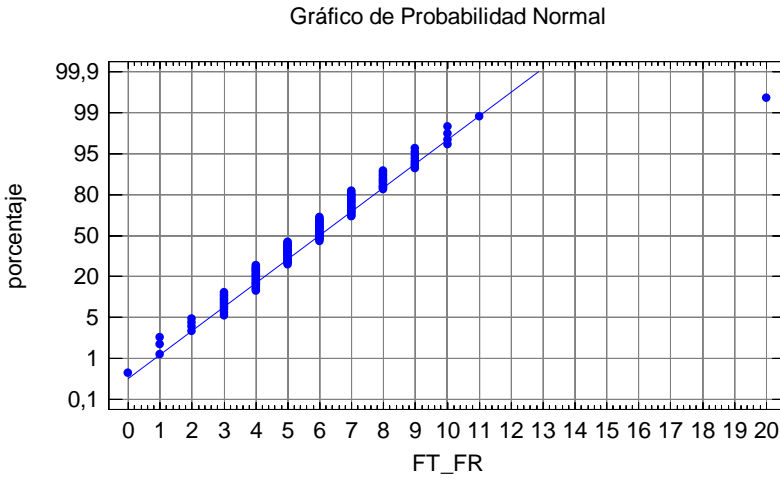
Un paso previo a la aplicación de las distintas herramientas e indicadores expuestos en el epígrafe anterior, es la constatación de que la característica de calidad que se está controlando ($X=FT-FR$) se ajusta a una Normal. Para ello se ha procedido a realizar un contraste de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, con la corrección de Lilliefors, al no especificarse en la hipótesis de normalidad la media y desviación típica de la distribución. El resultado se recoge en la tabla que sigue:

Tabla 3. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para $X=FT-FR$

Test de Kolmogorov-Smirnov (Lilliefors)	
Estadístico	p-valor
1,351	0,052

Por lo que, a tenor del **p**-valor (superior al 5%), se puede admitir que X sigue una distribución Normal. Esto queda constatado con la observación del gráfico de probabilidad Normal

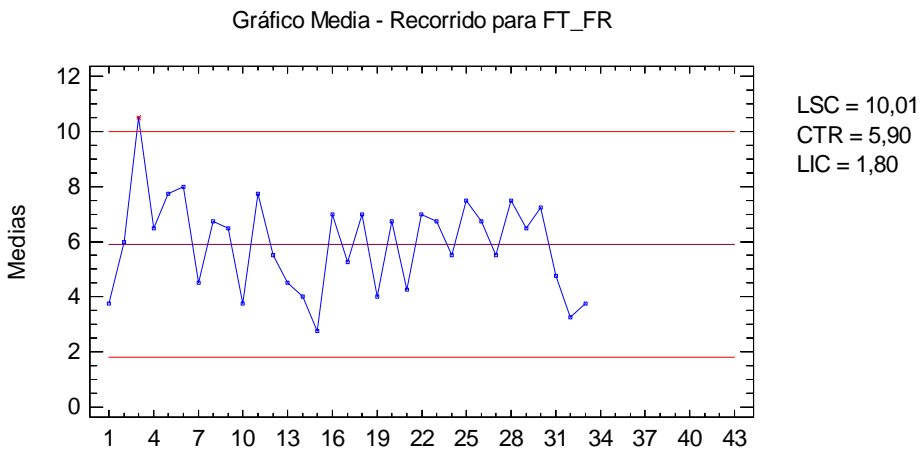
Gráfico 2. Gráfico de probabilidad Normal para X=FT-FR

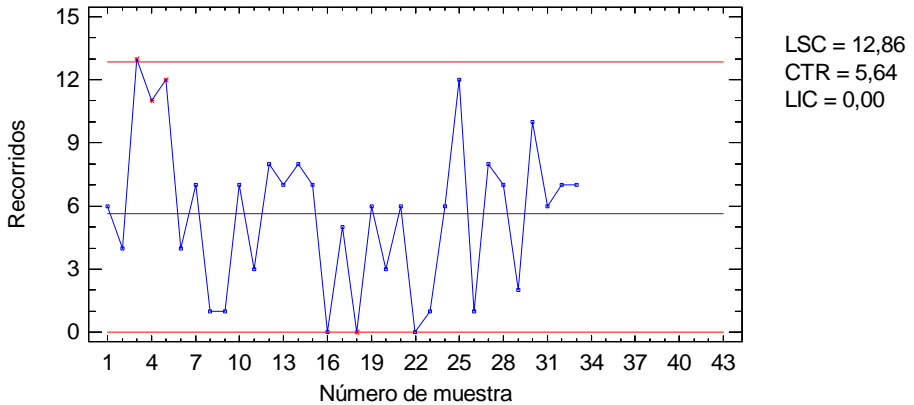


4.1. Obtención e interpretación de los gráficos de control

A partir de la base de datos elaborada, en un primer paso se obtiene el Gráfico de Media-Recorrido, teniendo en cuenta que se ha seleccionado éste atendiendo a que el tamaño muestral (n) es inferior a 10, concretamente $n=4$, y a que el control que se lleva a cabo es por variables, atendiendo a la naturaleza de la característica X a controlar. El uso del paquete estadístico Statgraphics facilita la obtención de dicho gráfico.

Gráfico 3. Gráfico de Media-Recorrido (con presencia de dato anómalo)





En ambos gráficos se puede observar que la muestra número tres está fuera de los límites y además las muestras 16, 18 y 22 se encuentran sobre el LCI del Gráfico de Recorrido, siendo dichos límites los siguientes²:

- Gráfico de Media: LCI= 1,7926 días
LC= 5,9015 días
LCS= 10,01 días
- Gráfico de Recorrido: LCI= 0 días
LC= 5,6364 días
LCS= 12,8622 días

Atendiendo, por tanto, al método general para la obtención e interpretación de los gráficos de control (Oakland, 2008: 117-120) , en primer lugar se analiza a qué se debe el dato anómalo detectado y posteriormente se procede a eliminar dicha muestra y a recalcular los límites de ambos gráficos. Así, si se observan los datos que componen la 3ª muestra,

Tabla 4. Datos correspondientes a la muestra anómala

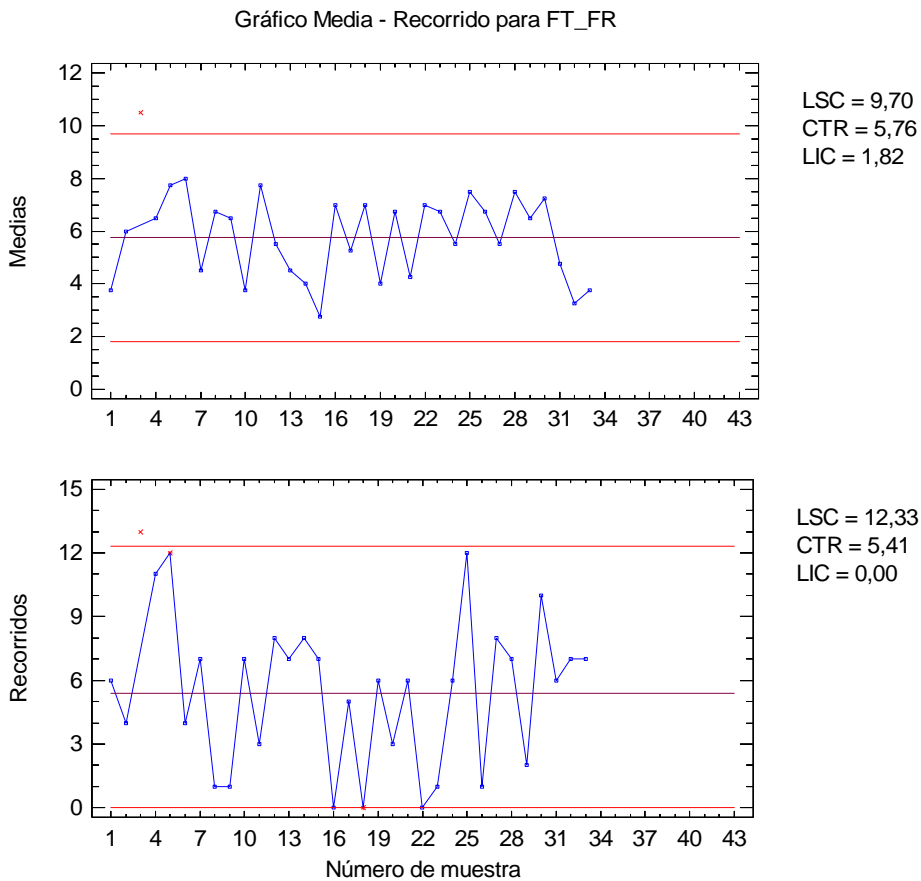
FT (Fecha teórica)	FR (Fecha real)	Diferencia. entre FT y FR (FT-FR)	Media muestra
24-Abril-2013	16 -Abril- 2013	8	10,5
31-Mayo-2013	24-Mayo- 2013	7	
21-Mayo-2013	14- Mayo- 2013	7	
22-Mayo-2013	2-Mayo-2013	20	

² Por cuestiones de precisión en el resto del trabajo, se han considerado los valores de los límites con hasta 4 decimales. En la leyenda de los gráficos, el software utilizado, ha redondeado a 2 decimales.

Se observa que dos de los cuatro datos coinciden con los 7 días que especifica la empresa, uno de ellos se aproxima notablemente, ya que entre la fecha teórica y la fecha real median 8 días, pero existe un dato de la muestra en el que la diferencia entre la FT y la FR es de 20 días. Esto hace que la media y el recorrido de la muestra se incrementen notablemente, y que la muestra número 3 sobrepase los límites de control superior, constituyendo un punto anómalo.

Eliminando dicha muestra (la 3) y recalculando los límites y la línea central del gráfico con las 32 muestras restantes:

Gráfico 4. Gráfico de Media-Recorrido (tras eliminación del dato anómalo)



Siendo, concretamente, las líneas para ambos gráficos las siguientes:

- Gráfico de Media: LCI=1,8167 días
LC= 5,7578 días
LCS= 9,699 días
- Gráfico de Recorrido: LCI= 0 días
LC= 5,40625 días
LCS=12,3371 días

Cabe indicar que, en el caso del Gráfico de Recorrido existen tres muestras que se sitúan sobre el límite de control inferior (LCI=0), y dos muestras que aunque aparentemente coincidan con el límite de control superior, se sitúan por debajo (concretamente, en ambas muestras, el recorrido es 12).

En cualquier caso, cabe resaltar la existencia de más fluctuaciones en el Gráfico de Recorrido que en el Gráfico de Media, presentando las medias muestrales una menor variabilidad.

Por otra parte se está en disposición de identificar el proceso, esto es, de estimar la media y la desviación típica del mismo. En efecto, teniendo en cuenta los valores de las líneas que delimitan dichos gráficos:

$$\bar{X} = 5,7578$$

$$\bar{R} = 5,40625$$

Entonces:

$$\mu \text{ estimada} = \bar{X} = 5,7578 \text{ días}$$

$$\sigma \text{ estimada} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{5,40625}{2,059} = 2,62567 \text{ días}$$

Esto es, se estima que por término medio los auditores adelantan en más de 5 días y menos de 6 (concretamente 5,7578 días) la fecha de realización de la auditoría y que en más del 68% de los casos se anticipan a la FT entre 3,1321 y 8,3835 días, al ser estos los valores correspondientes a $\mu - \sigma$ y $\mu + \sigma$.

4.2. Estudio de la capacidad del proceso

El objetivo del estudio de capacidad es constatar si el proceso, estando bajo control, es capaz de producir, o en este caso, prestar un servicio que cumpla con las especificaciones.

Un paso previo, por tanto, consiste en fijar cual es el valor objetivo (b) perseguido para la variable X así como las especificaciones correspondientes. En este caso:

- Valor Objetivo: que los auditores cumplan con la meta marcada por la empresa, esto es que adelanten las auditorías en 7 días a la FT, por lo que $b=7$.
- Especificaciones: dado que los auditores no deben adelantarse más de dos semanas (14 días) respecto a la fecha teórica, ni realizar la auditoría con posterioridad a la citada

fecha, la tolerancia es de ± 7 días (-7 significaría que el auditor realiza su labor en la fecha teórica y +7 que, no cumpliendo tampoco con el objetivo de la empresa, agota los plazos legales y realiza la auditoría justo en el plazo máximo permitido por ley). Por lo que las especificaciones son:

$$\begin{aligned}\text{Límite de Tolerancia Inferior} &= \text{LTI} = b - \text{Tolerancia} = 7 - 7 = 0 \\ \text{Límite de Tolerancia Superior} &= \text{LTS} = b + \text{Tolerancia} = 7 + 7 = 14\end{aligned}$$

Así, para analizar la capacidad del proceso, se hace uso de los índices de capacidad definidos al efecto, teniendo presente los valores de μ y σ estimados (5,7578 y 2,62567 respectivamente):

$$\text{Índice de capacidad potencial} = C_p = \frac{\text{LTS} - \text{LTI}}{6\sigma} = \frac{14 - 0}{6 \cdot (2,62567)} = 0,8887$$

$$\begin{aligned}\text{Índice de capacidad real} &= C_{pk} = \min\left(\frac{\text{LTS} - \mu}{3\sigma}; \frac{\mu - \text{LTI}}{3\sigma}\right) = \\ &= \min\left(\frac{14 - 5,7578}{3 \cdot (2,62567)}; \frac{5,7578 - 0}{3 \cdot (2,62567)}\right) = \\ &= \min(1,04636; 0,7309) = 0,7309\end{aligned}$$

Es decir, el proceso no es potencial ni realmente capaz, al ser ambos indicadores inferiores a la unidad. Además, puede observarse cómo proporcionan valores distintos. Esto es debido a que el proceso está descentrado, es decir,

$$\mu = 5,7578 \neq b = 7$$

Es más, si se obtienen los límites de tolerancia natural:

$$\text{Límite Inferior de Tolerancia natural} = \text{LNTL} = \mu - 3\sigma = 5,757 - 3(2,62567) = -2,1192^3$$

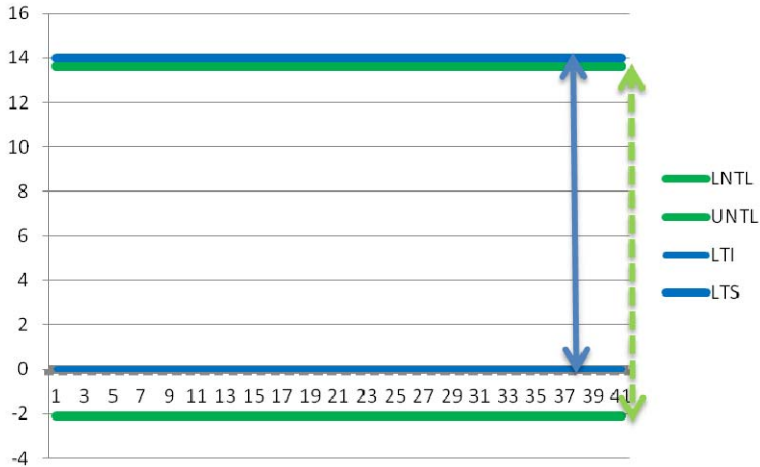
$$\text{Límite Superior de Tolerancia natural} = \text{UNTL} = \mu + 3\sigma = 5,7578 + 3(2,62567) = 13,6348$$

Y se comparan con los límites de tolerancia se deduce que, dado que el UNTL(13,63) es inferior al LTS (14), el proceso cumple con respecto al LTS, no llegándose a la misma conclusión para la tolerancia inferior, pues el LNTL = -2,1192 es inferior al LTI (=0).

Gráficamente la situación sería la siguiente:

³ Obsérvese que el LNTL es negativo, concretamente -2,1192, por lo que cabe esperar, dentro de la variabilidad natural del proceso, un retraso con respecto a la fecha teórica (FT) de hasta aproximadamente 2 días.

Gráfico 5. Límites Inferior y Superior de Tolerancia natural y de Tolerancia



Por lo tanto el proceso presenta disconformidades respecto al LTI.

Para sugerir medidas que palien el problema detectado, se procede a estudiar si una disminución de la variabilidad solucionaría el mismo y, en caso afirmativo, que porcentaje de disminución de variabilidad sería necesario.

Así, teniendo en cuenta que en términos de calidad se le exige al índice de capacidad potencial que sea igual o superior a 1,33, esto es:

$$C_p = \frac{LTS - LTI}{6\sigma} \geq 1,33$$

Se obtiene que, para que se alcance la cota inferior ($C_p = 1,33$), debe verificarse que:

$$\sigma = \frac{LTS - LTI}{6 \cdot 1,33} = \frac{14 - 0}{6 \cdot 1,33} = 1,7543$$

Es decir, es necesario que la desviación típica sea inferior a la obtenida (2,62567), lo que supone tomar las medidas necesarias que permitan disminuir la variabilidad en términos absolutos en $2,62567 - 1,7543 = 0,8714$ días y en términos relativos en un porcentaje igual a:

$$\frac{2,62567 - 1,7543}{2,62567} \times 100 = 33,18\%$$

Una vez lograda dicha disminución, el proceso pasa a ser potencial y realmente capaz, pues:

$$C_p = \frac{LTS - LTI}{6\sigma} = \frac{14 - 0}{6(1,7543)} = 1,33$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{LTS - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LTI}{3\sigma}\right) = \min\left(\frac{14 - 5,7578}{3 \cdot (1,7543)}, \frac{5,7578 - 0}{3 \cdot (1,7543)}\right) = \min(1,566; 1,0939) = 1,0939$$

4.3. Cálculo de los costes derivados de la pérdida de calidad

A continuación, atendiendo al resultado del estudio de capacidad, y teniendo en cuenta que la empresa auditora estudiada, por cada auditoría factura 700 €/día a la empresa cliente, se procede a realizar el análisis del coste derivado de la no calidad. Conviene destacar que dicho coste en el presente trabajo se ha de entender como un coste mínimo de calidad, ya que existen costes directos e indirectos que la empresa por motivos de confidencialidad no ha facilitado.

Para llevar a cabo el análisis propuesto se hace uso de la función de pérdida de Taguchi, con expresión:

$$L(x) = K(x - b)^2$$

Siendo **K** el coeficiente de pérdida, en este caso:

$$K = \frac{700}{(14 - 7)^2} = 14,2857$$

Por otra parte la pérdida media unitaria (por cada auditoría en este caso) responde a la siguiente expresión:

$$E[L(x)] = K(\sigma^2 + (\mu - b)^2)$$

Por lo que si se estima el coste medio unitario que supone a la empresa no alcanzar el objetivo, suponiendo que no ha sido posible reducir la variabilidad, se obtiene:

$$\text{Coste medio/unidad} = 14,2857(2,62567^2 + (5,7578 - 7)^2) = 120,531\text{€}$$

Esto supone que si, como es el caso, se trabaja con muestras de tamaño 4, el coste medio esperado por muestra es:

$$120,531 \cdot 4 = 482,124 \text{€}$$

Coste que, si se multiplica por el número de muestras extraídas para realizar el estudio (32), se eleva a

$$482,124 \cdot 32 = 15427,968\text{€}$$

Si, por otra parte, se consigue disminuir la variabilidad de $\sigma=2,62567$ a $\sigma=1,7543$ (33,18% de disminución), para lograr la capacidad del proceso, se obtiene que:

$$\text{Coste medio/unidad} = 14,2857 \left(1,7543^2 + (5,7578 - 7)^2 \right) = 66,0128\text{€}$$

$$\text{Coste medio/muestra de 4 unidades} = 4 \cdot 66,0128 = 264,0512\text{€}$$

$$\text{Coste medio/32 muestras (de 4 unidades)} = 32 \cdot 264,0512 = 8449,6384\text{€}$$

Y el coste disminuiría en 6.978,33 €, esto es, en un 45,23%.

Por último, indicar que en el caso del presente trabajo se ha enfocado el cálculo del coste derivado de la pérdida de calidad desde un punto de vista meramente económico, pero no debe perderse de vista que también pueden tener implicaciones (normalmente en empresas vinculadas a otros sectores) de otro tipo, como accidentes laborales, pérdida de competitividad de la empresa (Mejías Herrera, 2001: 10-17).

5. Conclusiones

La aplicación de técnicas de Control Estadístico de Calidad a una empresa del sector servicios, dedicada a la inspección, verificación y certificación, ha permitido identificar el proceso, realizar un análisis de la capacidad del mismo y sugerir acciones de mejora que permitan disminuir los costes derivados del incumplimiento de los objetivos marcados.

Así, tras hacer uso de los gráficos de control por variables, se ha identificado el proceso, al estimar que por término medio los auditores adelantan la auditoría con respecto a la Fecha Teórica (FT) en 5,7578 días, siendo la variabilidad estimada $\sigma = 2,62567$ días.

Habiendo marcado, la empresa, como objetivo que el número de días que se anticipa la auditoría a la empresa cliente sea de 7 días, un análisis de capacidad permite comprobar que el proceso no ha resultado ser ni potencial ni realmente capaz. Para solucionar este problema habría que disminuir la variabilidad en un 33,18%, y para ello se proponen medidas como: formación de los empleados; inversión en tecnología punta; diseño de un mecanismo de comunicación entre departamentos... Si se consiguiese reducir esa variabilidad, se produciría una reducción del coste de en torno al 45% con respecto a los aproximadamente 15.400€ que se estiman cuando el proceso no es capaz.

Se constata por tanto que, como en todas las empresas, siempre existen oportunidades de mejora, como consecuencia de una reducción de la variabilidad. Para ello debe aumentarse la inversión en tecnología punta y formación de los auditores, lo que implica un compromiso de todo el personal, especialmente de los directivos, y una coordinación y comunicación entre todos los departamentos.

Por último, se proponen como futuras líneas de investigación la realización de diseño de experimentos que permita identificar, si existen, factores que optimicen el proceso. A modo de ejemplo, parece intuirse que los factores "tipo de auditoría" y "sector al cual está vinculada la empresa auditada" pueden ser determinantes.

Finalmente hay que destacar que es posible aplicar eficazmente herramientas de Control Estadístico de Calidad, tradicionalmente utilizadas en el sector de la producción, al sector servicios.

Referencias

- Clemente Marín, G., Miró y Martínez, P., Sanchos Rico, V.J. (2001). Análisis del comportamiento diferenciado en máquinas similares de tejeduría. En *XXVI Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa*. Jaén: Universidad de Jaén.
- Club Excelencia en Gestión. <http://www.clubexcelencia.org/> Consultado: 28/05/2013.
- Fundación Iberoamericana para la Gestión de la Calidad (FUNDIBEQ). http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/graficos_de_control_por_variables.pdf. Consultado: 11/06/2013.
- González López, O., Bañegil Palacios, T.M., Buenadicha Mateos, M. (2013). El índice cuantitativo de calidad web como instrumento objetivo de medición de la calidad de sitios web corporativos. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa*, 19, 16-30.
- Huerga Castro, C., Blanco Alonso, P., Abad González, J. (2005). Aplicación de los gráficos de control en el análisis de la calidad textil. *Pecvnia*, 1, 135-148.
- Huerga Castro, C., Abad González, J. Blanco Alonso, P. (2012). El papel de la estadística en la metodología seis sigma. Una propuesta de actuación en servicios sanitarios. *Pecvnia Monográfico 2012*, 111-136.
- Ishikawa, K. (1994). *Introducción al control de calidad* (3ª ed.). Madrid: Díaz de Santos.
- López Ruiz, F. (2003). Taguchi, la calidad en cifras. *Qualitas hodie: Excelencia, desarrollo sostenible e innovación*, 89, 76-78.
- Mejías Herrera, S. (2001). Los gráficos de control, una eficaz herramienta para evaluar el desempeño en Programas de seguridad. *Revista del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*, 13, 10-17.
- Montgomery, D.C (2010). *Control estadístico de la calidad* (3ª ed.). México: Limusa Wiley.
- Oakland, J.S. (2008). *Statistical process control* (6th ed.). Oxford: BH.
- Riu, J. (2005). Gráficos de control de Shewhart. *Técnicas de Laboratorio*, 306, 1016-1019.
- Taguchi, G. (1987). *Introducción a la ingeniería de calidad*. Monterrey: Centro de Calidad, DGI-ITESM.

Anexo

Tabla 2. Coeficientes gráficos de control por variables

n	C ₄	d ₂	A ₂	A ₃	B ₃	B ₄	D ₃	D ₄
2	0,7979	1,128	1,88	2,659	0	3,267	0	3,276
3	0,8862	1,693	1,023	1,954	0	2,568	0	2,575
4	0,9213	2,059	0,729	1,628	0	2,266	0	2,282
5	0,94	2,326	0,577	1,427	0	2,089	0	2,115
6	0,9515	2,534	0,483	1,287	0,03	1,97	0	2,004
7	0,9594	2,704	0,419	1,182	0,118	1,882	0,076	1,924
8	0,965	2,847	0,373	1,099	0,185	1,815	0,136	1,864
9	0,969	2,97	0,337	1,032	0,239	1,761	0,184	1,816
10	0,9727	3,078	0,308	0,975	0,284	1,716	0,223	1,777
11	0,9754	3,173	0,285	0,927	0,321	1,679	0,256	1,774
12	0,9776	3,258	0,266	0,886	0,354	1,646	0,284	1,719
13	0,9794	3,336	0,249	0,85	0,382	1,618	0,308	1,692
14	0,981	3,407	0,235	0,817	0,406	1,594	0,329	1,671
15	0,9823	3,472	0,223	0,789	0,428	1,572	0,348	1,652
16	0,9835	3,532	0,212	0,763	0,448	1,552	0,364	1,636
17	0,9845	3,588	0,203	0,739	0,466	1,534	0,379	1,621
18	0,9854	3,64	0,194	0,718	0,482	1,518	0,392	1,608
19	0,9862	3,689	0,187	0,698	0,497	1,503	0,404	1,596
20	0,9869	3,735	0,18	0,68	0,51	1,49	0,414	1,586
21	0,9876	3,778	0,173	0,663	0,523	1,477	0,425	1,575
22	0,9882	3,819	0,167	0,647	0,534	1,466	0,434	1,566
23	0,9887	3,858	0,162	0,633	0,545	1,455	0,443	1,557
24	0,9892	3,895	0,157	0,619	0,555	1,445	0,452	1,548
25	0,9896	3,931	0,153	0,606	0,565	1,435	0,459	1,541

Fuente: Montgomery (2010).