

# Control de calidad en un proceso financiero usando estadística multivariada

## Quality control in a financial process using multivariate statistics

CORREA-ESPINAL, Alexander A. [1](#); PEREZ-DUQUE, Paula N. [2](#); GUTIERREZ-ROA, Faviana [3](#)

Recibido: 26/04/2018 • Aprobado: 25/05/2018

### Contenido

- [1. Introducción](#)
  - [2. Métodos y materiales](#)
  - [3. Resultados](#)
  - [4. Conclusiones](#)
- [Referencias bibliográficas](#)

#### RESUMEN:

Se propone la aplicación de un modelo para el control multivariado de la calidad en un proceso de servicio de crédito. Dicho modelo parte de la identificación de las causas de variabilidad del proceso, donde se monitorean y analizan las características de calidad que influyen directamente en la satisfacción del cliente final. El propósito fundamental de este modelado es el aumento de la eficiencia operativa que permita cimentar la cultura de mejoramiento continuo en la empresa.

**Palabras-Clave:** Control de calidad multivariado, calidad en servicios, mejoramiento de procesos, gráficos de control, T2 Hotelling.

#### ABSTRACT:

The application of a model for multivariate quality control in a credit service process is proposed. This model is based on the identification of the causes of the variability of the process, where the quality characteristics that directly influence the satisfaction of the final customer are monitored and analyzed. The fundamental purpose of this model is the increase in operational efficiency that allows the control of the culture of continuous improvement in the company.

**Keywords** Multivariate quality control, quality service, improving processes, control charts, T2 Hotelling.

## 1. Introducción

Mejorar de forma permanente es indispensable para la competitividad de las compañías; lo cual requiere de un método que permita priorizar los problemas a intervenir en los procesos, del análisis detallado de los métodos usados para la recolección y análisis de datos, depende la selección de una herramienta eficiente de diagnóstico que permita enfrentar los problemas del sistema, a través de decisiones adecuadas y oportunas (Ishikawa 1985).

Gran parte de los trabajos realizados sobre control estadístico multivariado de procesos se han realizado en aplicaciones de manufactura (MacCarthy & Wasusri 2002), (Montgomery 2013). En los años 90, se realizaron estudios en las industrias extractivas y de materiales

(Hawkins 1991) y (Samanta & Bhahtacherjee 1999). Actualmente, se observan trabajos en el sector de transporte (Chen & Durango-Cohen 2015), en la calibración de cámaras para el control de procesos (Franceschini et al. 2015), en la fabricación de acero (Brämning et al. 2016).

Las aplicaciones en la industria de servicios, en particular en el área financiera han sido menos investigadas. Los aportes más destacados se dan en el campo de la medicina, las telecomunicaciones, los riesgos financieros, como se evidencia en el trabajo de (Bersimis et al. 2017). En medicina se ha usado el control estadístico multivariado para el monitoreo del estado del paciente en función de diferentes características (Correia et al. 2011); en el control de la estabilidad de medicamentos (Tôrres et al. 2015).

En telecomunicaciones, se destaca la aplicación realizada por Ospina, donde se hace uso de los gráficos de atributos multivariados para monitorear la satisfacción del cliente (Ospina et al. 2010). Auzair, presenta un estudio en el que utiliza un enfoque de configuración para examinar las relaciones entre múltiples variables contingentes y los sistemas de control de gestión en las organizaciones de servicios de diversas industrias (Auzair 2015). Gregorio y Cronemyr, desarrollan un modelo para ayudar a las organizaciones de servicios a establecer las especificaciones de acuerdo con las expectativas de los clientes (Gregorio & Cronemyr 2011). Colin, utiliza cartas de control  $T^2$  de Hotelling para el control de proyectos (Colin et al. 2015). Faraz, usa las gráficas de control multivariado  $T^2$  de Hotelling para el monitoreo del proceso de entregas de productos y servicios a clientes (Faraz et al. 2013). Pérez, presentan el uso de técnicas multivariadas y control de las reclamaciones administrativas en una unidad de servicios de salud (Pérez et al. 2009).

En el sector financiero se han realizado aplicaciones en el análisis del riesgo financiero y en la calidad de las carteras para inversión. Tales como, el trabajo de (Durán & Orlandoni 2007), donde proponen la identificación de los indicadores que describen el riesgo de los bancos venezolanos para monitorear su rendimiento, a través de la aplicación de gráficos de control multivariado, *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA). De otra parte, (Golosnoy & Schmid 2007), desarrollan una aplicación en la cual se utilizan modificaciones de diversos métodos, tales como el gráfico R y el MEWMA, en el monitoreo de múltiples indicadores que determinan el retorno de la inversión en carteras.

En Colombia, las investigaciones sobre el control y mejoramiento de la calidad de los de servicios, en particular los del sector financiero, son aún embrionarios, lo que se observa en la escasa literatura y estudios aplicados al respecto, por lo cual resulta de especial interés para este trabajo, profundizar el conocimiento con relación a temas de análisis estadístico y calidad aplicados en el sector mencionado.

Teniendo en cuenta lo dicho, la novedad de este estudio radica en primera instancia, en el uso de modelos estadísticos multivariados para mejoramiento de la calidad que han sido ampliamente utilizados en el sector manufacturero, pero poco explorados en el sector financiero. Para el logro de este propósito, se definieron las características críticas de calidad factibles de ser monitoreadas en el proceso de crédito de una entidad financiera, se determinaron las métricas y especificaciones de las características de calidad, se diseñó una herramienta que permita la medición y el monitoreo de las variables críticas, se estableció el modelo de control estadístico multivariado de calidad que se ajustó a las características del proceso de crédito, se comparó el desempeño del modelo empleado, se detectaron las causas asignables de variabilidad que afectaban a dicho proceso y por último, se propusieron acciones de mejora para dicho proceso.

---

## 2. Métodos y materiales

### 2.1. Alcance

Para el desarrollo del estudio, es necesario describir de forma breve el proceso y el alcance definido, con el fin de tener claro el marco de referencia sobre el cual se trabaja. Para el presente estudio, se seleccionó una entidad financiera con cobertura en las principales

ciudades de Colombia. Posteriormente, se realizó un análisis de Pareto de los procesos realizados y se seleccionó el proceso de crédito de vehículos para personas naturales, que a la fecha del estudio, representaba más de la mitad de la cartera total de la entidad financiera. En cuanto al lugar de realización, fue seleccionada la regional Antioquia, debido a que en esta zona se estudian, procesan y desembolsan las solicitudes de crédito para todo el país.

Una vez seleccionado el proceso, se procedió a identificar, los síntomas percibidos como afectaciones o fallas más importantes en dicho proceso, los cuales fueron: largos tiempos de respuesta al cliente, existencia de reprocesos durante la creación del crédito o el desembolso y el incumplimiento en las metas de oportunidad.

## **2.2. Metodología**

Este trabajo, se enmarcó dentro de las siguientes etapas: Identificación y formulación del problema, definición de las variables críticas factibles de ser monitoreadas, determinación de las características de calidad definidas, selección de una herramienta que permita la medición y monitoreo de las variables críticas, evaluación de métodos de control estadístico multivariado que se ajusten a las características del proceso de crédito, detección de las causas de variabilidad en el proceso de crédito, a partir de los puntos fuera de control, teniendo como base la propuesta presentada por Méndez (Méndez A. 1995).

### **2.2.1. Identificación del problema**

Al evaluar 12.317 solicitudes de revisión realizadas por los clientes del proceso de crédito durante los años 2.009, 2.010 y 2.011, se identificaron 2.621 casos que fueron solucionados a favor de éstos, haciendo un análisis más detallado, se pudo determinar que el 80% de las quejas y reclamos se deben a: diferencias en el saldo facturado, deficiencias en el proceso y deficiencias en la información suministrada al cliente. Para complementar la identificación del problema, se realizó observación directa del proceso y consulta con los expertos en la ejecución y administración del proceso de crédito. A partir de estos análisis, se definió como problema central la necesidad de definir un modelo de monitoreo de la calidad para la identificación de causas de variabilidad acuerde con las características del proceso de crédito de la entidad financiera.

### **2.2.2. Selección de variables críticas**

El estudio de los principales efectos obtenidos se realizó a partir de un diagrama de Pareto que permitió definir las siguientes causas raíz: las no conformidades durante el proceso de creación del crédito (apertura) e información deficiente durante la asesoría al cliente. Al complementar este análisis con el lineamiento estratégico de la compañía se seleccionaron las siguientes variables críticas para el proceso: (X1), calidad de la apertura; (X2), calidad del desembolso; (X3), calidad en la facturación y (X4), tiempo de respuesta.

### **2.3.3. Medición**

Para la medición de las variables seleccionadas, se construyó una herramienta en Excel® 2007, que permitía realizar la verificación, calificación y monitoreo de las inconsistencias presentadas a través del proceso de crédito. La herramienta está compuesta por cinco módulos en los cuales el personal encargado puede efectuar una verificación detallada de su proceso, donde automáticamente se califican y registran las medidas de cada una de las especificaciones de las variables críticas, todo lo anterior soportado en listas de chequeo construidas en conjunto con las áreas impactadas.

Para realizar el estudio se define la necesidad de tomar una muestra de 84 observaciones (21 días de duración de la investigación, por cuatro observaciones diarias). La captura de los datos se ejecutó de forma aleatoria a lo largo de los días del estudio, con el objetivo de evitar la influencia de factores ajenos al propósito del trabajo, tales como: rendimiento del personal y volumen de operaciones. En la captura de los datos, fueron descartadas cuatro observaciones, debido a que en la fecha en que se realizaron los cálculos, las obligaciones no habían sido procesadas a través de la apertura y el desembolso, razón por la cual no

existían datos del monitoreo en dichas etapas. Por otro lado, dos observaciones más fueron eliminadas del análisis, debido a que el tiempo de respuesta se incrementó, ya que los concesionarios en los cuales se adquirió el vehículo, no poseían existencias del color deseado por el cliente, por lo cual el desembolso se postergó hasta la llegada del vehículo. Después de esta depuración se obtuvieron en total 78 datos, que son presentados en la tabla 1.

**Tabla 1**  
Datos obtenidos del proceso para las variables críticas seleccionadas

<i>i</i>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	<i>i</i>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
1	0	12	18	96,12	40	0	0	0	45,43
2	0	10	0	35,21	42	0	0	0	61,32
3	0	0	0	68,83	43	12	0	0	73,76
4	0	0	0	27,23	44	0	0	18	27,21
5	10	0	20	52,96	45	0	10	0	73
6	0	0	0	32,17	46	0	0	0	26,47
7	0	0	0	32,22	47	6	10	18	67,95
8	0	0	0	47,85	48	0	0	0	67,87
9	0	0	0	41,45	49	0	0	0	27,45
10	0	0	0	41,51	50	10	0	20	48,36
11	18	0	0	82,7	51	0	0	0	33,78
12	0	9	0	36,29	52	0	0	0	32,24
13	0	0	18	30,96	53	6	0	20	58,88
14	6	18	0	60,3	54	0	0	0	46,53
15	0	0	0	46,65	55	0	0	0	21,24
16	6	0	0	49,02	56	0	0	0	26,78
17	0	0	0	49,08	57	0	0	0	40,44
18	0	14	0	68,67	58	0	0	0	27,19
19	0	0	0	55,61	59	0	0	0	41,24
20	0	0	0	41,06	60	18	0	0	34,94
21	0	0	0	47,28	61	0	0	0	47,44
22	0	0	0	66,97	62	0	12	0	34,73
23	0	0	0	40,03	63	0	0	10	54,05
24	0	18	0	27,83	64	10	8	12	87,7
25	9	0	18	33,69	65	0	0	0	47,55
26	0	0	0	20,88	66	0	0	12	61,39
27	0	0	0	41,17	67	6	0	0	54,07
28	0	0	0	60,69	68	0	0	20	66,66
29	12	0	16	87,85	69	9	0	0	40,22
30	0	14	0	39,96	70	0	0	0	42,84
31	0	0	0	68,44	71	12	10	0	54,42
32	0	0	0	48,4	72	0	0	0	27,63
33	0	0	0	48,94	73	6	7	0	61,18
34	12	0	0	74,21	74	10	0	0	39,21
35	13	14	21	80,72	75	0	0	0	40,13
36	0	0	16	80,8	76	14	14	20	66,14
37	0	10	0	73,41	77	9	0	0	48,92

38	0	0	20	39,95	78	0	0	0	69,08
39	0	10	0	64,46	nd	nd	nd	nd	nd

Fuente: Elaboración propia a partir de (Perez-Duque 2012).

### 2.3.4. Caracterización de los datos

El uso de herramientas de análisis multivariado requiere que las variables cumplan con varios aspectos, entre ellos la normalidad y que exista algún tipo de correlación entre ellas. La evaluación del cumplimiento de estos supuestos se presenta a continuación:

Para hacer uso de herramientas como el modelo de control estadístico multivariado de *T2* Hotelling, se parte del supuesto de la normalidad de las características de calidad (Montgomery 2013). Por lo cual se hace necesario realizar pruebas de normalidad para las cuatro variables seleccionadas. A continuación, se presentan las pruebas de normalidad realizadas usando el método de Ryan-Joiner, con un  $\alpha=5$ , con la ayuda del software estadístico Minitab 15 ®, el valor de Ryan-Joiner obtenido fue,  $RJ= 0,997$  y dado que el  $p>0.5$ , se acepta  $H_0$ , es decir, la variable calidad de la apertura (X1) sigue una distribución normal con un nivel de confianza del 95%. De manera similar se realiza este análisis para las demás variables en estudio, donde se comprueba la normalidad para cada una de ellas.

Para evaluar la existencia de correlación se mide la intensidad y la dirección en que dos variables se relacionan de manera lineal. La presencia de correlación entre variables justifica la implementación de un modelo multivariado, toda vez que dicha dependencia puede generar señales fuera de control que no son detectadas al monitorear cada variable de manera individual. (Montgomery 2013). En tabla 2, se presenta la matriz de correlación de las cuatro características de calidad monitoreadas.

**Tabla 2**  
**Matriz de Correlación**

	<b>X1</b>	<b>X2</b>	<b>X3</b>
<b>X2</b>	0,108		
<b>X3</b>	0,268	0,068	
<b>X4</b>	0,340	0,229	0,324

Fuente: Elaboración propia a partir de (Perez-Duque 2012)

Se aplica la prueba de correlación de dos colas para cada par de variables, con un  $\alpha=5$ , donde se concluye que la correlación más alta se presenta entre las variables (X1), calidad de la apertura y (X4), tiempo de respuesta; esto implica que entre más fallas haya presentado el proceso en la apertura, el tiempo de respuesta será mayor, debido a los reprocesos que generan dichas fallas. El análisis de correlación muestra además, que la variable (X1), calidad de la apertura, está relacionada con la calidad de la facturación (X3). Adicionalmente, la calidad de la apertura, la calidad de la facturación y la calidad del desembolso, presentan correlación con el tiempo de respuesta; ello explica que los errores durante el proceso de apertura, desembolso y de facturación, tienden a aumentar el tiempo de respuesta, al igual que permite inferir, que es más factible que un error en la apertura del crédito se vea reflejado en la facturación y como consecuencia de ello, se presenten reprocesos y correcciones previas a la entrega del servicio.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas de normalidad y correlación, se infiere que es posible aplicar el un modelo estadístico multivariado, para el análisis de las características de calidad seleccionadas, ya que los datos cumplen con los supuestos necesarios para su aplicación.

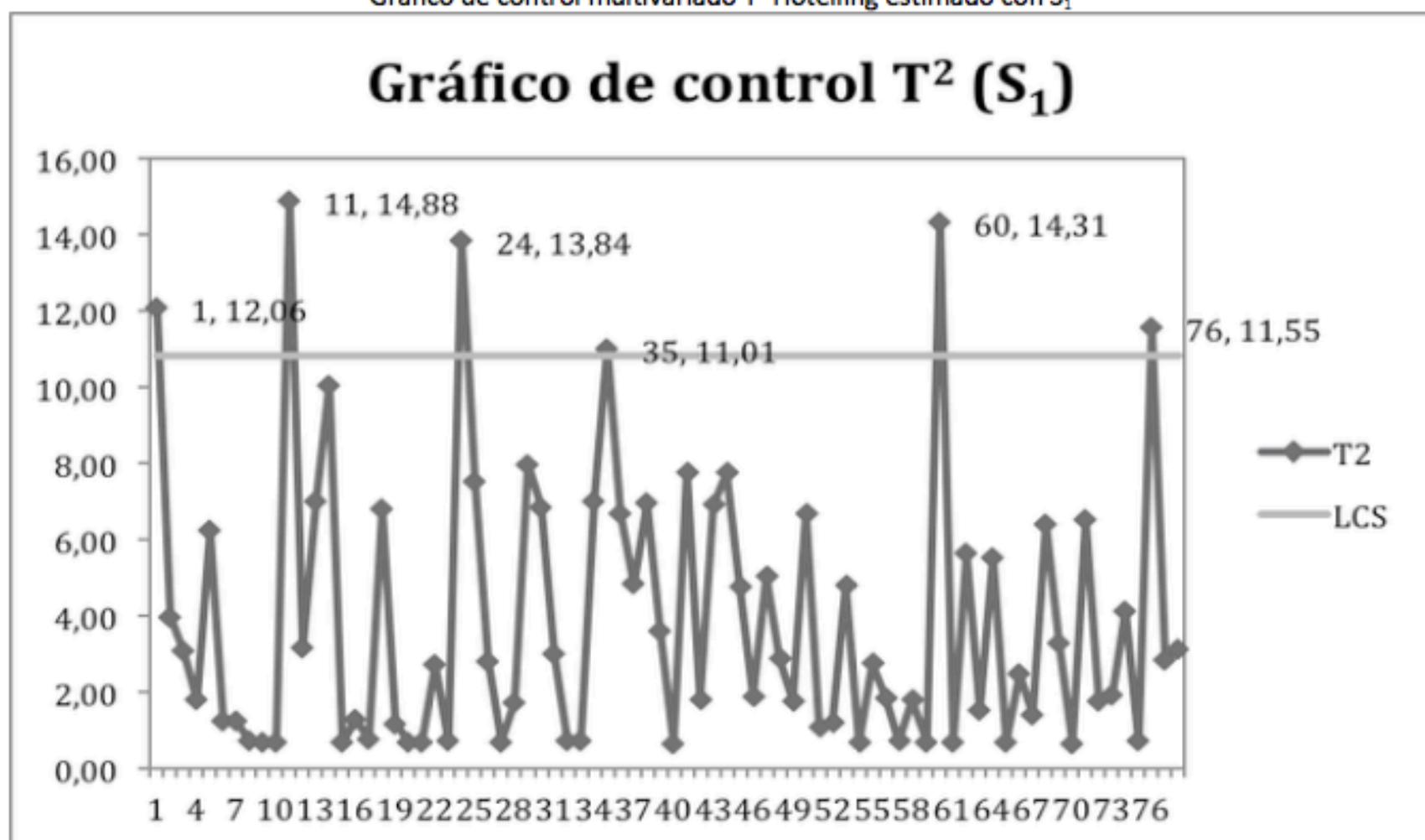
## 3. Resultados



	I'(S1)	I'(S2)	d1	d2	d3	d4	Var	I'	I'(S1)	I'(S2)	d1	d2	d3	d4	Var
1	12,06	12,66	3,2	1,7	1,78	4,62	X4	40	0,65	0,59	0,43	0,46	0,43	0,28	
2	3,97	3,57	-0,37	2,59	-0,42	0,56		41	7,76	6,61	0,88	-0,34	4,54	-0,28	
3	3,06	2,73	-0,63	-0,67	-0,67	1,28		42	1,81	1,57	-0,22	-0,23	-0,24	0,58	
4	1,79	1,95	0,81	0,83	0,81	1,93		43	6,9	7,27	2,29	0,05	0,88	0,64	
5	6,23	4,95	1,83	0,8	4,04	0,93		44	7,75	7,08	-1,78	-2,05	3,8	0,82	
6	1,22	1,32	0,74	0,77	0,74	1,27		45	4,75	4,2	0,36	0,93	0,14	1,44	
7	1,21	1,32	0,74	0,77	0,74	1,27		46	1,89	2,07	0,81	0,83	0,81	2,04	
8	0,7	0,61	0,35	0,38	0,34	0,23		47	5,02	5,1	1,81	3,36	4,21	1,82	
9	0,67	0,67	0,55	0,58	0,54	0,46		48	2,87	2,56	-0,58	-0,61	-0,61	1,18	
10	0,67	0,66	0,55	0,58	0,54	0,46		49	1,76	1,92	0,8	0,82	0,8	1,9	
11	14,88	15,4	7,74	0,36	1,96	1,18	X1	50	6,68	5,29	1,51	0,22	3,82	0,92	
12	3,17	2,85	-0,2	2,04	-0,25	0,5		51	1,07	1,16	0,72	0,75	0,72	1,09	
13	6,99	6,3	-1,46	-1,79	3,76	0,31		52	1,21	1,31	0,74	0,77	0,74	1,26	
14	10,05	8,08	0,42	8,9	0,83	0,16		53	4,79	3,87	0,46	0,85	4,25	0,43	
15	0,67	0,6	0,39	0,42	0,39	0,25		54	0,67	0,6	0,4	0,42	0,39	0,25	
16	1,29	1,33	0,44	-0,02	0,16	-0,31		55	2,74	2,98	0,84	0,85	0,84	2,93	
17	0,74	0,64	0,31	0,33	0,3	0,21		56	1,85	2,02	0,81	0,83	0,81	1,99	
18	6,81	5,91	0,6	4,12	0,34	0,68		57	0,7	0,7	0,57	0,6	0,57	0,53	
19	1,16	0,99	0,05	0,06	0,03	0,29		58	1,79	1,96	0,81	0,83	0,81	1,93	
20	0,68	0,68	0,56	0,59	0,55	0,49		59	0,68	0,67	0,55	0,58	0,55	0,48	
21	0,68	0,6	0,37	0,4	0,36	0,24		60	14,31	12,85	10,02	-3,76	-3,1	-1,38	X1
22	2,71	2,4	-0,53	-0,55	-0,55	1,08		61	0,69	0,61	0,37	0,39	0,36	0,23	
23	0,71	0,72	0,59	0,61	0,58	0,55		62	5,63	5,01	-0,67	3,9	-0,74	0,51	
24	13,84	12,31	-2,31	9,74	-2,37	1,03	X2	63	1,52	1,21	0,27	-0,06	0,41	-0,26	
25	7,52	6,1	0,07	-1,6	2,16	1,55		64	5,52	5,91	3,95	3,67	3,46	5,46	
26	2,81	3,05	0,84	0,85	0,84	3		65	0,69	0,61	0,36	0,39	0,35	0,23	
27	0,68	0,68	0,56	0,58	0,55	0,48		66	2,48	2,02	0,39	-0,12	0,53	-0,05	
28	1,73	1,49	-0,19	-0,19	-0,21	0,54		67	1,41	1,47	0,24	0	0,22	-0,27	
29	7,97	7,98	4,2	4,17	3,39	5,31		68	6,41	5,42	0,76	-0,3	3,47	-0,24	
30	6,84	5,96	-0,65	5,4	-0,75	-0,03		69	3,27	3,1	1,89	-0,71	-0,47	-0,34	
31	2,98	2,66	-0,61	-0,64	-0,64	1,24		70	0,65	0,63	0,51	0,54	0,51	0,39	
32	0,71	0,62	0,33	0,36	0,32	0,22		71	6,51	5,15	3,45	1,27	0,38	-0,37	
33	0,73	0,64	0,31	0,34	0,31	0,21		72	1,74	1,89	0,8	0,82	0,8	1,87	
34	6,98	7,35	2,26	0,06	0,9	0,71		73	1,9	1,6	0,34	0,49	0,73	0,17	
35	11,01	10,67	7,71	9,48	8,42	6,24	X2	74	4,12	3,86	2,47	-0,98	-0,7	-0,4	
36	6,67	5,91	0,91	-0,16	0,63	2,21		75	0,71	0,72	0,58	0,61	0,58	0,55	
37	4,82	4,26	0,35	0,9	0,13	1,5		76	11,55	10,34	6,65	7,74	6,09	4,21	X2
38	6,94	6,05	-1	-1,54	4,59	-0,73		77	2,84	2,8	1,62	-0,39	-0,07	-0,66	
39	3,58	3,06	0,34	1,47	0,17	0,44		78	3,11	2,78	-0,65	-0,68	-0,68	1,31	

Para complementar el análisis del modelo, se presentan el gráfico de control multivariado correspondiente al método  $T^2(S_1)$ .

**Figura 3**  
Gráfico de control multivariado  $T^2$  Hotelling estimado con  $S_1$



Fuente: Elaboración propia en Minitab 15 \* a partir de (Perez-Duque 2012)

En la Figura 3, se presenta el gráfico de control multivariado calculando el estadístico  $T^2$  a partir del estimador de la matriz de covarianza,  $S_1$ , donde se observa que existen 6 puntos por fuera del límite de control, así: Datos recolectados en los tiempos 1, 11, 24, 35, 60 y 76; por lo anterior se puede inferir que el proceso se encuentra fuera de control. Lo anterior plantea una alerta para la organización, toda vez que los créditos correspondientes a estos tiempos, tienen más posibilidades de materializarse en inconformidades del cliente hacia el servicio prestado.

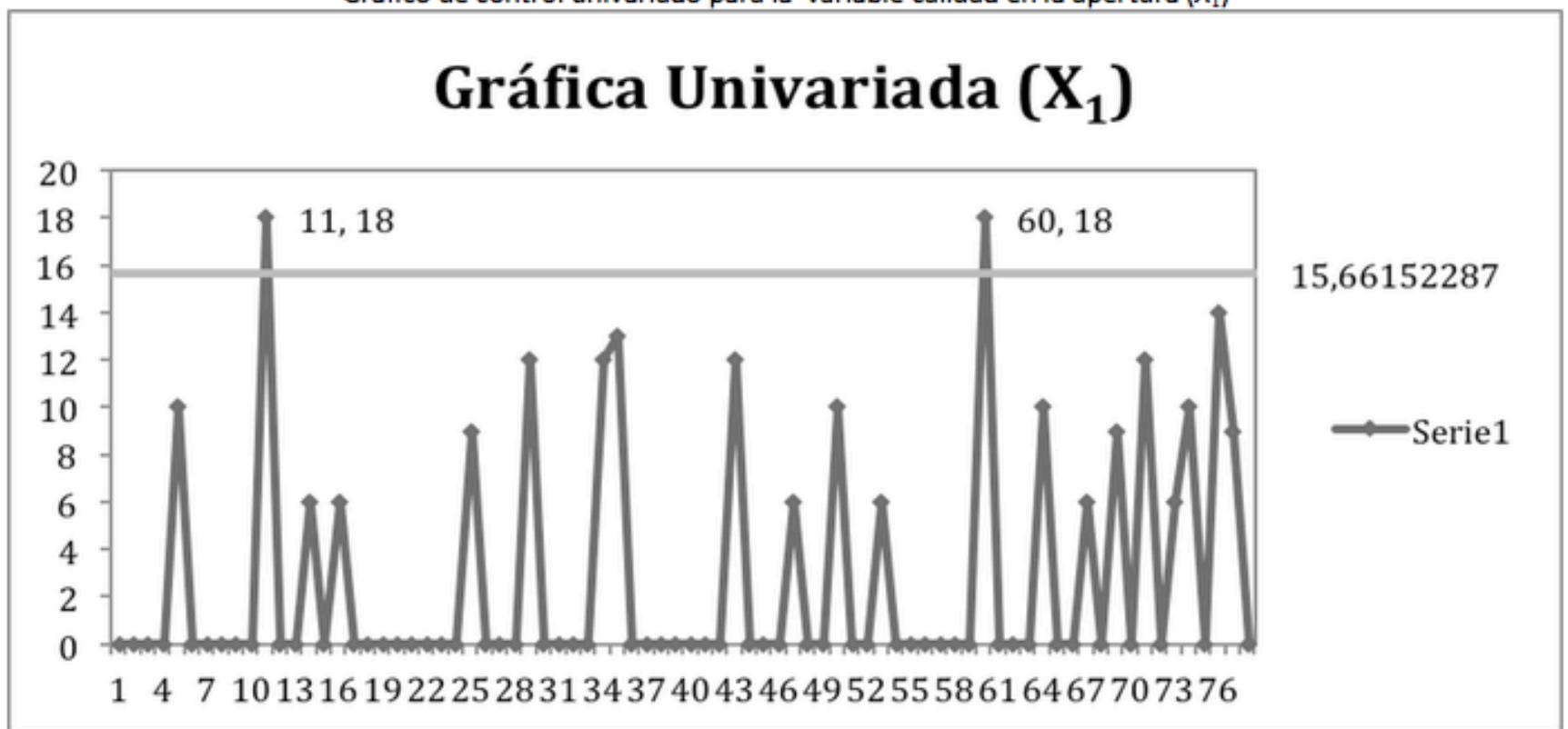
De forma similar se elabora con la ayuda del software estadístico Minitab 15 \* el gráfico de control calculado a partir del estimador de la matriz de covarianza,  $S_2$ , donde se evidencian cuatro puntos por fuera del límite de control en los tiempos 1, 11, 24 y 60. Al dejar de lado dos puntos que sí fueron registrados en la Figura 3, se deduce que este gráfico requiere mayor tiempo para identificar una señal por fuera del límite después de haber detectado un cambio significativo en la media; esto sugiere que para el caso estudiado, se desempeña mejor el gráfico basado en  $S_1$ .

### 3.4. Identificación de causas de variabilidad

Con el fin de identificar las causas de variabilidad en el proceso analizado, se usan dos técnicas que permiten evidenciar las variables que generan puntos fuera de control en los gráficos multivariados, y a partir de estos analizar las posibles causas que provocan que el proceso este fuera de control. En primer lugar, se construyen gráficos de control univariados para cada una de las características de calidad analizadas, lo que permite proporcionar información útil sobre los puntos fuera de control, cuando no existe correlación con otras características. En segundo lugar, se utiliza la descomposición del estadístico  $T^2$  en  $p$  componentes, cada uno de los cuales se compara contra el estadístico  $T^2$  total, con el fin de identificar cuál de estos componentes genera puntos por fuera del límite de control establecido.

#### 3.4.1. Construcción de gráficos de control univariados

Con el objetivo de comparar el resultado obtenido a través de las cartas de control multivariado, se presentan las cartas de control univariadas.

**Figura 4**Gráfico de control univariado para la variable calidad en la apertura ( $X_1$ )

Fuente: Elaboración propia en Minitab 15 \* a partir de (Perez-Duque 2012).

En la Figura 4, se presenta el gráfico de control univariado de la calidad de la apertura del crédito ( $X_1$ ), donde se observan dos puntos fuera del límite de control, en los tiempos 11 y 60. Estos puntos también fueron identificados por el gráfico de control multivariado. De manera similar, se realizaron análisis de las demás características de calidad estudiadas y se encontró que en el gráfico de control univariado de la calidad del desembolso ( $X_2$ ), se evidencian dos puntos por fuera del límite de control, que corresponden a los tiempos 14 y 24. El primer punto fuera de control no fue identificado por el gráfico multivariado, mientras que el segundo punto sí fue detectado, esto se puede explicar debido a que no hubo un cambio significativo en la media entre las observaciones 11 a la 14. En los gráficos de control univariados para la calidad en la facturación ( $X_3$ ) y el tiempo de respuesta ( $X_4$ ), no se observan puntos por fuera de los límites de control.

### 3.4.2. Descomposición del estadístico $T^2$

Para cada una de las cuatro variables analizadas, se descompone el estadístico  $T^2$  calculando su valor sin incluir una de las características de calidad, para determinar la contribución de dicha variable con relación al valor total del estadístico. Mientras más grande sea el valor de la diferencia entre los dos cálculos, mayor será la contribución aportada por la variable omitida (Murphy 1987).

Para realizar el cálculo de la descomposición, es necesario estandarizar las variables para obtener valores adimensionales, ya que estos valores pueden ser diferentes para las características de calidad evaluadas. Para el cálculo de los valores estandarizados se utiliza la ecuación 6, contenida en el software estadístico Minitab 15 \*.

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j} \quad (6)$$

Posterior a la estandarización de las variables, se halla la diferencia entre los estadísticos estandarizados  $T^2$  (Estadístico completo) y  $T^2_{(i)}$  (Estadístico sin una de las características estudiadas), usando la ecuación 7.

$$d_i = T^2 - T^2_{(i)} \quad (7)$$

Donde,

$T^2_{(i)}$ , es el estadístico  $T^2$  calculado para las  $p$  variables omitiendo la variable  $i$ .

En la tabla 3, se presentan los datos del cálculo de la diferencia  $d_i$  y se especifica la variable responsable de la señal fuera de control.

- Señales fuera de control en las variables de calidad analizadas

Con la descomposición del Estadístico  $T^2$ , fue posible observar las variables que más influyeron en los puntos fuera de control: La calidad de la apertura del crédito ( $X_1$ ), es una variable donde los puntos fuera de control detectados en los tiempos 11 y 60, ver Figura 4 y tabla 3, corresponden a inconsistencias en la forma en que se calculan las cuotas del crédito durante la vigencia del crédito. Estas fallas representan un alto riesgo para la empresa, ya que tienen una tasa de ocurrencia significativa, dado que el proceso se lleva a cabo de manera manual. Para mejorar esta situación se recomienda desarrollar una aplicación que estandarice la selección de estas condiciones de forma más precisa.

La calidad en el desembolso ( $X_2$ ), es una variable que afecta el desempeño del proceso en el tiempo 14, ver tabla 3. Punto que aunque no se refleja cuando se elabora el gráfico de control multivariado, si generó señal en el gráfico univariado de la variable ( $X_2$ ). Lo cual demuestra que el método de descomposición del estadístico  $T^2$  es efectivo en la detección de puntos fuera de control.

La calidad en la facturación, ( $X_3$ ), esta variable no presenta puntos por fuera de control, en el análisis univariado, ni en la descomposición del estadístico, lo que implica que la calidad en la facturación no presenta problemas para el proceso en estudio.

El tiempo de respuesta, ( $X_4$ ), a pesar de que en el análisis univariado no presentó puntos fuera del límite de control, la descomposición del estadístico  $T^2$  para esta variable, se evidencia en la Tabla 3, que contribuyó en el valor del estadístico en el tiempo 1 y por lo tanto, es la responsable del punto fuera de control en este momento; dicho punto se observó en el gráfico multivariado basado en  $S_1$ , ver Figura 3.

---

## 4. Conclusiones

La definición de las características críticas de calidad factibles de ser monitoreadas durante el proceso de crédito, fue posible gracias a la aplicación de herramientas estadísticas tradicionales, tales como diagramas causa-efecto y diagramas de Pareto, iniciando desde la generalidad de las causas, hasta identificar las causas asignables de fallas de proceso, tales como: Tiempo de respuesta, Calidad en la apertura del crédito, Calidad del desembolso y Calidad en la Facturación.

El modelo de control estadístico multivariado permite un mejor monitoreo del proceso de crédito, que el enfoque univariado, toda vez que el método univariado no reveló fallas en los tiempos 1, 24, 35 y 76, las cuales se hicieron evidentes a través del método multivariado, específicamente con el gráfico de control multivariado  $T^2$  Hotelling basado en  $S_1$ .

A partir del estudio realizado se identificó que las fallas en la apertura del plan de pagos tienen una alta probabilidad de ocurrencia y su gravedad tiende a ser contraproducente en la experiencia de los clientes. Por lo anterior, una vez se presentaron los resultados del estudio, se analizaron posibles mejoras requeridas para la ejecución de esta actividad, con lo cual se crearon instructivos interactivos para cada tipo de operación, en los cuales se dan instrucciones específicas de cada tarea a ejecutar, de acuerdo con las condiciones seleccionadas por el cliente.

En estudios futuros, se recomienda incluir otras variables que puedan afectar la calidad total del sistema; por ejemplo, analizar si el día, la hora y la carga de trabajo tienen alguna representatividad en dicha afectación; lo que a su vez podría alimentar procesos del departamento de gestión humana.

# Referencias bibliográficas

- Auzair, S.M., (2015). **A configuration approach to management control systems design in service organizations**, *Journal of Accounting & Organizational Change*, 11(1), pp.47–72. <https://doi.org/10.1108/JAOC-08-2012-0064>
- BERSIMIS, S., SGORA, A. & PSARAKIS, S., (2017). **The application of multivariate statistical process monitoring in non-industrial processes**. *Quality Technology & Quantitative Management*, 3703(April), pp.1–24. Available at: <http://dx.doi.org/10.1080/16843703.2016.1226711>.
- BRÄMMING, M., BJÖRKMAN, B. & SAMUELSSON, C., (2016). **BOF Process Control and Slopping Prediction Based on Multivariate Data Analysis**. *steel research international*, 87(3), pp.301–310. Available at: <http://dx.doi.org/10.1002/srin.201500040>.
- CHEN, Y. & DURANGO-COHEN, P.L., (2015). **Development and field application of a multivariate statistical process control framework for health-monitoring of transportation infrastructure**. *Transportation Research Part B: Methodological*, 81, pp.78–102. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0191261515001939>.
- COLIN, J. et al., (2015). **A multivariate approach for top-down project control using earned value management**. *Decision Support Systems*, 79, pp.65–76. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167923615001554>.
- CORREIA, F., NÉVEDA, R. & OLIVEIRA, P., (2011). **Chronic respiratory patient control by multivariate charts**. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 24(8), pp.621–643.
- DURÁN, Z. & ORLANDONI, G., (2007). **Indicadores de riesgo bancario determinados mediante el modelado con ecuaciones estructurales**, Colección Economía y Finanzas. Banco Central de Venezuela.
- FARAZ, A. et al., (2013). **Monitoring delivery chains using multivariate control charts**. *European Journal of Operational Research*, 228(1), pp.282–289. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221713000854>.
- FRANCESCHINI, F., GALETTO, M. & GENTA, G., (2015). **Multivariate control charts for monitoring internal camera parameters in digital photogrammetry for LSDM (Large-Scale Dimensional Metrology) applications**. *Precision Engineering*, 42, pp.133–142. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141635915000847>.
- GOLOSNOY, V. & SCHMID, W., (2007). **EWMA Control Charts for Monitoring Optimal Portfolio Weights**. *Sequential Analysis*, 26(2), pp.195–224. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07474940701247099>.
- GREGORIO, R. & CRONEMYR, P., (2011). **From expectations and needs of service customers to control chart specification limits**. *The TQM Journal*, 23(2), pp.164–178.
- HAWKINS, D.M., (1991). **Multivariate Control Based on Quality Variables**. *Technometrics*, 33(1), pp.61–75.
- Ishikawa, K., (1985). **¿Qué es control total de calidad? Modalidad Japonesa**, Prentice Hall. Bogotá.
- MACCARTHY, B.L. & WASUSRI, T., (2002). **A review of non-standard applications of statistical process control (SPC) charts**. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 19(3), pp.295–320. Available at: <http://dx.doi.org/10.1108/02656710210415695>.
- MENDEZ A., C., (1995). **Metodología: Guía para elaborar diseños de investigación en ciencias económicas, contables y administrativas**, Segunda Edición, Santa Fé de Bogotá: Mc Graw Hill.
- Montgomery, D.C., (2013). **Introduction to Statistical Quality Control** Seventh ed., John Wiley & Sons Inc.
- MURPHY, B., (1987). **Selecting Out of Control Variables With the T2 Multivariate Quality Control Procedure**. *Journal of the Royal Statistical Society*, 36(5), pp.571–581.

OSPINA, C., LOPERA, C.M. & YAÑEZ, S., (2010). **Algunas Cartas de Control Bivariadas para Atributos**. *Revista Dyna*, 77(162), pp. 325–337.

PEREZ-DUQUE, P.N., (2012). **Control estadístico de calidad multivariado, para el monitoreo e identificación de causas de variabilidad en procesos de crédito del sector financiero**. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales , Tesis de Maestría.

PÉREZ, A.V. ET AL., (2009). **Análisis de las reclamaciones en atención primaria mediante el control estadístico de procesos**. *Revista de Calidad Asistencial*, 24(4), pp.155–161. Available at:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1134282X09717993>.

SAMANTA, B. & BHAHTTACHERJEE, A., (1999). **Statistical Quality Control: A Multivariate Approach**. *Mineral Resources Engineering*, 8(2), pp.227–238.

TÔRRES, A.R., GRANGEIRO, S. & FRAGOSO, W.D., (2015). **Multivariate control charts for monitoring captopril stability**. *Microchemical Journal*, 118, pp.259–265. Available at:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0026265X14001507>.

---

1. Profesor Titular Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Ingeniero Industrial, Magister en ingeniería Industrial. Ph.D. en Estadística e Investigación Operativa. [alcorrea@unal.edu.co](mailto:alcorrea@unal.edu.co)

2. Gerente de Desarrollo de Productos SUFI, Bancolombia. Ingeniera Industrial, Magister en ingeniería Industrial. [pnperezd@unal.edu.co](mailto:pnperezd@unal.edu.co)

3. Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Ingeniera Industrial, Magister en ingeniería Administrativa. Grupo de Investigación GIMGO. [dfgutierrezr@unal.edu.co](mailto:dfgutierrezr@unal.edu.co)

---

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015  
Vol. 39 (Nº 42) Año 2018

[Índice]

[En caso de encontrar un error en esta página notificar a [webmaster](#)]

©2018. revistaESPACIOS.com • ®Derechos Reservados