

ESTIMACIÓN DEL PARÁMETRO Z_{shift} MEDIANTE LA SIMULACIÓN DE PROCESOS CON CARACTERÍSTICAS DE CAPACIDAD Y ESTABILIDAD

ESTIMATION OF PARAMETER Z_{shift} TROUGH THE SIMULATION OF PROCESSES WITH CAPACITY AND STABILITY CHARACTERISTICS

Hilda Alejandra Araiza Herrera

Tecnológico Nacional de México en Celaya
hilda.araiza911103@hotmail.com

Moisés Tapia Esquivias

Tecnológico Nacional de México en Celaya
moises.tapia@itcelaya.edu.mx

Manuel Darío Hernández Ripalda

Tecnológico Nacional de México en Celaya
dario.hernandez@itcelaya.edu.mx

Alicia Luna González

Tecnológico Nacional de México en Celaya
alicia.luna@itcelaya.edu.mx

Resumen

Seis Sigma es considerado como una de las mayores contribuciones de Motorola, esta estrategia fue introducida por Bob Galvin a fines de 1984. Dentro de los conceptos que constituyen a Seis Sigma se encuentra la Z de desplazamiento o Z_{shift} que equivale a 1.5. Cuando un proceso está en control Z_{shift} tiene valores menores a 1.5, mientras que los procesos que no están en control los valores de Z_{shift} son mayores a 1.5. Sin embargo, no se han encontrado estudios en donde se haya observado el efecto de la estimación de Z_{shift} en procesos con características de capacidad y estabilidad (control). Es por esto que el objetivo de la investigación fue observar por medio de la simulación Monte Carlo el efecto en la estimación de Z_{shift} en procesos con características de capacidad y estabilidad (control).

Palabras clave: Control en proceso, Seis Sigma, Simulación Monte Carlo, Z_{shift} .

Abstract

Six Sigma is considered as one of the major contributions of Motorola, this strategy was introduced by Bob Galvin at the end of 1984, one of the concepts that constitute Six Sigma is the Z of displacement or Z_{shift} that equals 1.5. When a process is in control Z_{shift} has values less than 1.5, while the processes that are not in control the values of Z_{shift} are greater than 1.5. However, no studies have been found where the effect of estimating Z_{shift} has been observed in processes with capacity and stability (control) characteristics. This is why the objective of the research was to see the effect on the estimation of Z_{shift} using Monte Carlo simulation in processes with characteristics of capacity and stability (control).

Keywords: *Control in process, Monte Carlo simulation, Six Sigma, Z_{shift} .*

1. Introducción

Seis Sigma es una estrategia de mejora de procesos de negocios que se centra en la reducción de la variación, reduciendo así el número de defectos [Bothe, 2002]. El concepto de Seis Sigma fue introducido por Bob Galvin en Motorola a fines de 1984, tiempo en el que Motorola se encontraba en la necesidad de mejorar la calidad de sus productos [Raval & Muralidharan, 2016]. Uno de los principales conceptos que constituyen a Seis Sigma es la Z de desplazamiento del proceso o Z_{shift} que equivale a 1.5σ . Relacionando la Z_{shift} en términos de control de procesos, se sabe que cuando la Z_{shift} es menor que 1.5 se infiere que el proceso está en control, mientras que si es mayor a 1.5 el control del proceso es malo [Gutiérrez Pulido & De la Vara, 2009]. Sin embargo, no se han encontrado estudios en donde se observe el efecto de la estimación de Z_{shift} de procesos con características de capacidad y estabilidad combinados.

Es por eso que el objetivo de este estudio fue calcular el efecto en la estimación de Z_{shift} en procesos con características de capacidad y estabilidad combinados.

En la presente investigación, las etapas derivadas para lograr el objetivo planteado, fueron las siguientes:

- Se realizó una simulación con el método de Monte Carlo con 1000 iteraciones para la generación de datos bajo ciertas condiciones.

- Se propusieron condiciones para la generación de datos a través de la simulación antes señalada las cuales involucran los aspectos de capacidad y estabilidad.
- Para cada combinación de estabilidad y capacidad se calculó la capacidad de corto plazo Z_C y largo plazo Z_L .
- Derivado del paso anterior, se realizó el cálculo de Z_{shift} .

Los resultados obtenidos de la investigación expusieron que tal como Gutiérrez Pulido & De la Vara [2009] manifestaron; un proceso que no está en control tiene valores de Z_{shift} mayores a 1.5. Así también, la media fue más sensible a los cambios en comparación con la varianza; pues ya que, mientras se incrementaba la varianza, los valores de Z_{shift} no se vieron tan afectados como se pudo ver con los cambios hechos en la media. Además, debe tenerse precaución cuando se está estimando un valor de Z utilizando el valor típico de 1.5, debido a que en este trabajo la media de los resultados de la simulación Monte Carlo fue de 0.3808, este valor fue inferior al valor típico de 1.5 propuesto en la literatura. Sin embargo, la tarea para la que parece más útil el uso de Z_{shift} es usarlo como límite para la decisión de aplicar una estrategia para mejorar el control de un proceso, ya que se obtuvo una probabilidad de 2.68%, este porcentaje indica la probabilidad de decir que el proceso está fuera de control cuando está en control.

Seis Sigma y control de procesos

Una de las contribuciones más importantes de Seis Sigma es la estructura que proporciona para gestionar las iniciativas de mejora de una organización [De Mast & Bisgaard, 2007]; debido a que, se enfoca en los requerimientos del cliente, la prevención de defectos, la reducción del tiempo de ciclo y el ahorro de costos [Pyzdek, 2009]. Del mismo modo, describiendo a Seis Sigma como una estrategia de negocio, el término Seis Sigma se define como un proceso de negocios que permite a las compañías mejorar su línea base al diseñar y monitorear las actividades cotidianas de negocio en formas que minimizan el desperdicio y los recursos mientras aumenta la satisfacción del cliente. Además, guía al interior de

las compañías a cometer menos errores en todo lo que ellos hacen [Harry & Schroeder, 2000]. Esta estrategia de mejora se ha vuelto mundialmente popular; ya que es considerada como una nueva estrategia de gestión de calidad que ha venido a reemplazar a las teorías clásicas de la calidad y la mejora continua [Park, 2003 & Felizzola, 2014]. Seis Sigma se utiliza como indicador de desempeño en un proceso o meta; debido a que el término sigma, σ , es una letra en el alfabeto griego utilizado para expresar la desviación estándar de un proceso [Breyfogle III *et al.*, 2001]. El rendimiento de una organización se mide mediante el nivel sigma de los procesos; es decir, un valor de nivel de calidad sigma más alto es mejor. Seis Sigma tiene como objetivo disminuir los defectos a solo 3.4 defectos por millón de oportunidades (DPMO). Sin embargo, en la mayoría de las organizaciones se trabaja a un nivel de 4 sigma [Flifel *et al.*, 2017]. Del mismo modo, [Pyzdek, 2009] define proceso como una secuencia de tareas repetibles, realizadas en un orden específico cuyo producto crea un valor para el cliente o usuario. Así mismo, Gutiérrez Pulido & De la Vara [2009] clasificaron los procesos en función de su capacidad y estabilidad:

- Proceso estable (en control) y capaz: Proceso que cumple con especificaciones y es predecible en el futuro inmediato.
- Proceso capaz pero inestable (sin control): Es un proceso que funciona en presencia de causas especiales de variación, pero éstas son tales que el proceso es capaz de cumplir con especificaciones.
- Proceso estable (en control) pero incapaz: Es un proceso con baja capacidad de cumplir especificaciones y que genera piezas fuera de especificaciones.
- Proceso inestable (sin control) e incapaz: Proceso que no cumple con especificaciones y en que las causas especiales de variación aparecen con frecuencia. Produce mala calidad y, además, su desempeño es difícil de pronosticar.

La capacidad de un proceso permite tener información de la variación natural del proceso para una característica de calidad de interés; esto con la finalidad de conocer en qué medida tal característica de calidad puede cumplir con las especificaciones. Escalante Vázquez (2006) menciona que la capacidad de un

proceso se deriva en capacidad a corto plazo (Z_C) y capacidad a largo plazo (Z_L). Z_C se calcula a partir de una gama de datos tomados durante un período corto para que no haya influencias externas en el proceso (por ejemplo, que no haya importantes cambios de temperatura, turnos, operadores, lotes de materia prima, diferentes lotes, diferentes trabajadores, etcétera), se considera la variación dentro de subgrupos. Mientras que Z_L se calcula en un periodo más largo, de tal forma que se incluyan todas las fuentes de variación en el proceso (diferentes lotes, diferentes trabajadores, etcétera). En Seis Sigma, la capacidad o nivel de calidad de un proceso con una característica de calidad de tipo continuo que tiene especificaciones se suele medir mediante el índice Z [Gutiérrez Pulido, 2010]. De acuerdo a Gutiérrez Pulido & De la Vara [2009] la capacidad de un proceso medida en términos del índice Z es igual a la diferencia entre la capacidad de corto plazo (Z_C) y la capacidad de largo plazo (Z_L), esta diferencia se conoce como desplazamiento del proceso y se denota como Z_{shift} , este índice es capaz de representar la habilidad para controlar la tecnología y se calcula de acuerdo a la ecuación 1.

$$Z_{shift} = Z_C - Z_L \quad (1)$$

Hay estudios que mencionan que la media de un proceso se puede desplazar a través del tiempo hasta 1.5 sigmas en promedio hasta cualquier lado de su valor actual, además se concluyó que el desplazamiento a largo plazo (1.5) es una medida compensatoria utilizada para ajustar o corregir la influencia del error de muestreo durante un periodo prolongado de tiempo o muchos ciclos de operación [Harry, 2003]. Gutiérrez Pulido & De la Vara [2009] mencionan que el desplazamiento de 1.5 se utiliza de la siguiente manera: cuando es posible calcular Z_{shift} y si éste es menor que 1.5, se asume que el proceso está en control, y si es mayor que 1.5, entonces el control es malo. Si no conoce Z_{shift} , entonces se asume un valor de 1.5.

Por otro lado, el método de Monte Carlo es una herramienta de investigación y planeamiento; básicamente es una técnica de muestreo artificial, empleada para operar numéricamente sistemas complejos que tengan componentes aleatorios.

Para ello son realizadas diversas simulaciones donde, en cada una de ellas, son generados valores aleatorios para el conjunto de variables de entrada y parámetros del modelo que están sujetos a incertidumbre [Périssé & Pepe, 2006].

2. Método

Para encontrar el efecto del cálculo de Z_{shift} en procesos con características de capacidad y estabilidad combinados se realizó el siguiente método:

- Se partió con la simulación Monte Carlo en procesos combinados con características de capacidad y estabilidad.
- Con la finalidad de observar el efecto en la estimación de Z_{shift} para cada combinación se realizaron 1000 iteraciones.
- Para el estudio del caso, en la tabla 1 se propusieron los siguientes valores iniciales de proceso para cada combinación:

Tabla 1 Valores propuestos para el desarrollo de la investigación.

Proceso	Características	μ	σ^2	LIE	LSE
1	Capaz y estable.	0	1	-6	6
2	Incapaz y estable.	0	1	-3	3
3	Capaz, no estable y con cambios en la media.	[-3,3]	1	-6	6
4	Capaz, no estable y con cambios en la varianza.	0	[1,3]	-6	6
5	Proceso incapaz, no estable y con cambios en la media.	[-3,3]	1	-3	3
6	Proceso incapaz, no estable y con cambios en la varianza.	0	[1,3]	-3	3

Fuente: Elaboración propia.

- Para el cálculo de Z_{shift} , se utilizó una hoja de Microsoft Excel 2016 donde se generaron 300 datos aleatorios conformados por 60 subgrupos, con un tamaño de muestra de 5. Mediante la función `=DIST.NORM.INV(ALEATORIO(), media, desviación estándar)`, esta cantidad fue elegida debido a que según Escalante Vázquez (2006) menciona que para levantar la línea base de un proyecto se deben recolectar por lo menos 100 datos con 20 subgrupos con un tamaño de muestra de 5.

- Posteriormente mediante la ecuación 2 se hizo el cálculo de la desviación estándar de los subgrupos para obtener una desviación estándar a corto plazo [Minitab 17 Statistical Software, 2010].

$$\hat{\sigma}_C = S_C = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}{\sum_{i=1}^k (n_i - 1)}} \quad (2)$$

Dónde:

X_{ij} : jésima observación en el iésimo subgrupo.

\bar{X}_i : Media del iésimo subgrupo.

n_i : Número de observaciones en el iésimo subgrupo.

- A continuación, con la ecuación 3 se calculó la media [Levin, 2004] y la ecuación 4 calculó la desviación estándar a largo plazo [Minitab 17 Statistical Software, 2010].

$$\mu = \frac{\sum x_i}{N} \quad (3)$$

$$\hat{\sigma}_L = S_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^k (n_i) - 1}} \quad (4)$$

Dónde:

x_i : Valor de cada una de las observaciones.

N : Número de elementos de una población.

\bar{X} : Media de las medias de los subgrupos.

- Luego de haber calculado la media y la desviación estándar a largo plazo, con la ecuación 5 se calculó Z_C ; para el cálculo de Z_C calculada con los límites inferior y superior de especificación se utilizaron las ecuaciones 6 y 7 [Gutiérrez Pulido & De la Vara, 2009]:

$$Z_C = \text{mínimo} [Z_{LIEC}, Z_{LSEC}] \quad (5)$$

$$Z_{LIEC} = \frac{\mu - LIE}{\sigma_C} \quad (6)$$

$$Z_{LSEC} = \frac{LSE - \mu}{\sigma_C} \quad (7)$$

Dónde:

μ : Media del proceso

LIE : Límite inferior de especificación

LSE : Límite superior de especificación

σ_C : Desviación estándar de corto plazo

Z_{LIEC} : Capacidad a corto plazo calculada con límite inferior (LIE).

Z_{LSEC} : Capacidad a corto plazo calculada con límite superior (LSE).

- Antes de que se hiciera el cálculo de Z_C , se obtuvo la probabilidad para Z_{LIEC} y Z_{LSEC} mediante la hoja de cálculo Microsoft Excel 2016 con la función: *DISTR.NORM. ESTAND ()*. Posteriormente, se obtuvo el valor de Z a partir de la probabilidad de calculada escribiendo la función: *DISTR.NORM.ESTAND.INV ()*.
- A continuación, con la ecuación 8 se calculó Z_L para el cálculo de Z_L calculada con los límites inferior y superior de especificación se utilizaron las ecuaciones 9 y 10 [Gutiérrez Pulido & De la Vara, 2009]:

$$Z_L = \text{mínimo} [Z_{LIEL}, Z_{LSEL}] \quad (8)$$

$$Z_{LIEL} = \frac{\mu - LIE}{\sigma_L} \quad (9)$$

$$Z_{LSEL} = \frac{LSE - \mu}{\sigma_L} \quad (10)$$

Dónde:

σ_L : Desviación estándar a largo plazo.

Z_{LIEL} : Capacidad a largo plazo calculada con el límite inferior (LIE).

Z_{LSEL} : Capacidad a largo plazo calculada con el límite superior (LSE).

- Posteriormente, se obtuvo la probabilidad para Z_{LIEL} y Z_{LSEL} mediante la hoja de cálculo Microsoft Excel 2016 con la función: *DISTR.NORM. ESTAND ()*. Después de haber calculado Z_L se obtuvo el valor de Z a partir de la probabilidad de calculada con la función *DISTR.NORM.ESTAND.INV()*

- Después de haber calculado Z_C y Z_L ; con la ecuación 11 se calculó Z_{shift} [Gutiérrez Pulido & De la Vara, 2009].

$$Z_{shift} = Z_C - Z_L \quad (11)$$

Dónde:

Z_C : Capacidad a corto plazo

Z_L : Capacidad a largo plazo

- Para los procesos inestables con cambios en la media se escribió la siguiente función en Microsoft Excel 2016: $-3+6*ALEATORIO()$. Así mismo, para los procesos con cambios en la desviación estándar se escribió la siguiente función en Microsoft Excel 2016: $1+3*ALEATORIO()$.
- Luego de que se hizo la primera simulación con los valores iniciales propuestos. Para los procesos inestables con cambios en la media y en la varianza, los intervalos de la media y la varianza se fueron acortando en una razón de 1 en cada simulación.

3. Resultados

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos de la simulación Monte Carlo de los promedios de Z_{shift} para los procesos con diferentes características de capacidad, estabilidad a través de cambios de valores para la media y la varianza.

Tabla 2 Resultados de la simulación Monte Carlo para la estimación de Z_{shift} .

Proceso	$\overline{Z_{shift}}^{a*}$	$\overline{Z_{shift}}^{b*}$	$\overline{Z_{shift}}^{c*}$	$\overline{Z_{shift}}^{d*}$	$\overline{Z_{shift}}^{e*}$	$\overline{Z_{shift}}^{f*}$	$\overline{Z_{shift}}^{g*}$	$\overline{Z_{shift}}^{h*}$	$\overline{Z_{shift}}^{i*}$	$\overline{Z_{shift}}^{j*}$
1	0.014	0.019	0.0190	0.015	0.0198	0.017	0.0169	0.015	0.020	0.025
2	0.026	0.017	0.0277	0.030	0.0288	0.023	0.020	0.028	0.026	0.035
3	1.326	2.263	0.8978	0.639	1.501	1.396	1.538	1.396	1.367	1.469
4	0.027	0.0176	0.0240	0.031	0.0383	0.024	0.0314	0.033	0.045	0.040
5	1.242	1.234	1.435	0.574	1.440	1.208	1.4408	1.209	1.301	1.301
6	0.054	0.018	0.0592	0.056	0.0373	0.057	0.0492	0.061	0.068	0.058

a* = μ [-3,3], σ [1,3] b* = μ [-2.5,2.5], σ [1,3] c* = μ [-2,2], σ [1,3] d* = μ [-1.5,1.5], σ [1,3] e* = μ [-1,1], σ [1,3] f* = μ [-0.5,0.5], σ [1,3] g* = μ [-3,3], σ [1,2.5] h* = μ [-3,3], σ [1,2] i* = μ [-3,3], σ [1,1.5] j* = μ [-3,3], σ [1,1].

En base a los resultados mostrados en la tabla 2, fue posible realizar una gráfica la cual se puede observar en la figura 1, esta gráfica se realizó graficando los valores

promedio de Z_{shift} como resultado de los cambios efectuados de los valores de la media y varianza respectivamente. Por último, se calculó la probabilidad de equivocación en la que haya una falsa alarma en cuanto al control de un proceso, a través de la siguiente rutina: Se calcula la media y varianza de los diferentes valores de Z_{shift} encontrados en la simulación Montecarlo realizada anteriormente, en la figura 2 se presenta un resumen del análisis descriptivo de los resultados en la estimación de Z_{shift} , el cual se desarrolló en el software estadístico de Minitab V17.

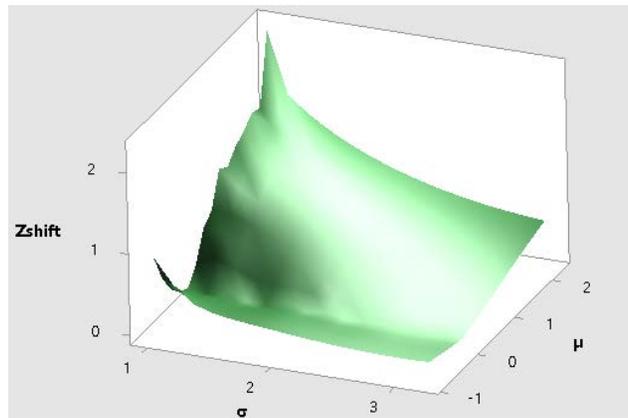


Figura 1 Gráfica de valores promedio de Z_{shift} vs media, varianza.

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Median	Maximum	Skewness
Zshift	60	0	0.3808	0.0750	0.5810	0.0139	0.0422	2.2634	1.43

Figura 2 Resultados del análisis descriptivo en la estimación de Z_{shift} .

Mediante la ecuación 12 se estandarizó el valor de Z_{shift} igual a 1.5 con el promedio y la desviación estándar observados para Z_{shift} , donde x (1.5) es la variable que se desea estandarizar, μ (0.3808) es la media y σ (0.5810) es la desviación estándar [Gutiérrez Pulido, 2010]. Es decir, se está encontrando la siguiente probabilidad: $P(Z_{shift} \leq 1.5)$.

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (12)$$

El resultado fue de 1.93, entonces se calculó la probabilidad para una curva normal de extremo izquierda mediante la función $P(Z \leq 1.93) = 0.9732$, por lo tanto, se obtuvo una probabilidad del 2.68% del lado derecho y este valor indica la

probabilidad de equivocación en que haya una falsa alarma en cuanto al control de un proceso.

4. Discusión

Z_{shift} tiene dos usos: uno como el valor medio de diferencia Z_C y Z_L . La otra es como límite para decidir si la intervención en un proyecto Seis Sigma es para atacar un problema de control (si Z_{shift} mayor que 1.5, entonces es un problema de control). En las simulaciones con diferentes situaciones se encontraron los siguientes resultados:

- En la tabla 2 se pudo observar que los procesos que presentaron los valores más elevados de Z_{shift} fueron los procesos que eran inestables en la media.
- De acuerdo con la figura 1, el desplazamiento en la media es el mayor factor para darle valor a Z_{shift} .
- El promedio de los resultados (0.3808) de Z_{shift} resultó ser menor al valor típico de 1.5 propuesto en la literatura.
- Si se estandariza el valor de Z_{shift} igual a 1.5 con el promedio y la desviación estándar observados para Z_{shift} , se obtuvo un valor de 1.93 que señala para una curva normal un extremo izquierdo con probabilidad de aproximadamente 2.68%, este porcentaje indica la probabilidad de decir que el proceso está fuera de control cuando está en control.

Por tal motivo es importante resaltar que Z_{shift} es más sensible al desplazamiento de la media y menos a la variación; lo cual debe considerarse para las estrategias de un proyecto Seis Sigma, es decir, se debe tener prioridad en arreglar el desplazamiento de la media y posteriormente reducir la varianza. Conclusiones similares sobre el comportamiento de la media fueron observados en Bothe [2002]. Así mismo, Z_{shift} igual a 1.5 no apareció como un valor medio de desplazamiento entre Z_C y Z_L , debe entonces tenerse precaución cuando se está estimando un valor de Z utilizando el valor típico de 1.5.

El valor que parece más útil en el uso de Z_{shift} igual a 1.5 es usarlo como límite para la decisión de aplicar una estrategia para mejorar el control de un proceso.

5. Revisores

Revisor 1

Nombre: Luís Felipe Noriega Román
Institución: Tecnológico Nacional de México en Roque
Cédula Profesional: 6164553
Área de conocimiento: Gestión Empresarial
Correo electrónico: felipenoriega@itroque.edu.mx

Revisor 2

Nombre: Israel Servín Gómez
Institución: Tecnológico Nacional de México en Roque
Cédula Profesional: 8758472
Área de conocimiento: Gestión Empresarial
Correo electrónico: isra_servin@hotmail.com

6. Bibliografía y referencias

- [1] Bothe, D. R. (2002). Statistical reason for the 1.5 σ shift. *Quality Engineering*, Vol. 14, No. 3, pág. 479-487.
- [2] Breyfogle III, F. W., Cupello, J. M., & Meadows, B. (2001). *Managing Six Sigma: a practical guide to understanding, assessing, and implementing the strategy that yields bottom-line success*. John Wiley & Sons.
- [3] De Mast, J., & Bisgaard, S. (2007). The science in Six Sigma. *Quality Progress*, Vol. 40, No.1, pág. 25-29.
- [4] Escalante Vázquez, E. (2006). *Análisis y mejoramiento de la calidad*. Limusa.
- [5] Felizzola Jiménez, H., & Luna Amaya, C. (2014). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*. Vol. 22, No. 2, pág. 264-269.
- [6] Gutiérrez Pulido, H. (2010). *Calidad total y productividad*. Mc Graw-Hill, México.
- [7] Gutiérrez Pulido., H., & de la Vara, R. (2009). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*. Mc Graw-Hill. México DF.
- [8] Levin, R. I., & Rubin, D. S. (2004). *Estadística para administración y economía*. Pearson Educación, México.

- [9] Flifel, A. F., Zakić N., & Tornjanski A. (2017). Identification and selection of Six Sigma projects. *Journal of Process Management. New Technologies*, Vol. 5, No. 2, pág. 10-16.
- [10] Harry, M. J. (2003) *Resolving the mysteries of Six Sigma: statistical constructs and engineering rationale*. Palladyne Publishing. United States of America.
- [11] Harry, M., & Schroeder, R. (2000). *Six Sigma: the breakthrough management strategy revolutionizing World's Top Corporations*. Double Day. United States of America.
- [12] Minitab 17 Statistical Software. (2010). State College, PA: Minitab, Inc. (www.minitab.com)
- [13] Park, S. H. (2003). *Six Sigma for quality and productivity promotion*. Asian Productivity Organization. Tokyo.
- [14] Périssé, M. C., & Pepe, M. L. (2006). Una aplicación del método de Monte Carlo en el análisis de riesgo de proyectos: su automatización a través de una planilla de cálculo. Vol. 5, No. 4, pág. 1-10.
- [15] Pyzdek, T., & Keller, P.A. (2009). *The Six Sigma handbook*. Tercera edición. McGraw-Hill. United States of America.
- [16] Raval, N., & Muralidharan, K. (2016). A note on 1.5 Sigma shift in performance evaluation. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, Vol. 23, No. 6, pág. 1640007-1-1640007-5.