

Nuevo enfoque para la estimación de índices de capacidad de procesos no normales usando técnicas de inteligencia artificial

Myladis R. Cogollo ¹

¹Profesora Asociada

Universidad EAFIT
Medellín, Colombia

Proyecto cooperado EAFIT - ITM:

Estimación de índices de control de calidad de procesos
a partir de datos imprecisos con desviaciones de la
normalidad

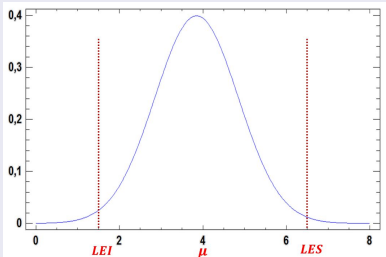
Grupos de investigación participantes:

Calidad, Metrología y Producción
Modelado Matemático

Contenido

- 1 Planteamiento del problema
- 2 Hipótesis de investigación
- 3 Condiciones para que se den aportes en la temática
- 4 Objetivo
- 5 Metodología
- 6 Cronograma de actividades
- 7 Resultados esperados
- 8 Referencias

Índices de Capacidad de Procesos (ICP) tradicionales



Supuestos para la estimación:

- Proceso bajo control
- Datos normales, independientes e idénticamente distribuidos

- ICP Potencial:

$$C_p = \frac{LES - LEI}{6\sigma}$$

- ICP con Especificación Inferior:

$$C_{pl} = \frac{\mu - LEI}{3\sigma}$$

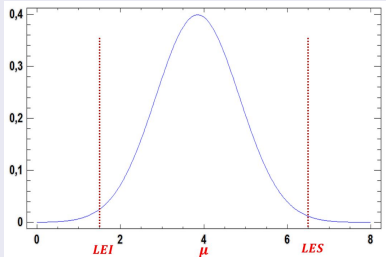
- ICP con Especificación Superior:

$$C_{pu} = \frac{LES - \mu}{3\sigma}$$

- IC Real del Proceso:

$$C_{pk} = \min \{ C_{pl}, C_{pu} \}$$

Índices de Capacidad de Procesos (ICP) tradicionales



Supuestos para la estimación:

- Proceso bajo control
- Datos normales, independientes e idénticamente distribuidos

- ICP Potencial:

$$C_p = \frac{LES - LEI}{6\sigma}$$

- ICP con Especificación Inferior:

$$C_{pl} = \frac{\mu - LEI}{3\sigma}$$

- ICP con Especificación Superior:

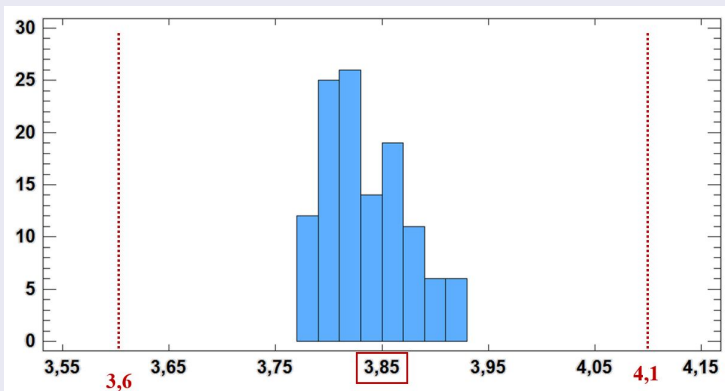
$$C_{pu} = \frac{LES - \mu}{3\sigma}$$

- IC Real del Proceso:

$$C_{pk} = \min \{ C_{pl}, C_{pu} \}$$

En la práctica no todos los datos asociados a los procesos se distribuyen normalmente

Volumenes de gas ($n = 120$)



Fuente: Elaboración propia

Principales metodologías planteadas para abordar el problema

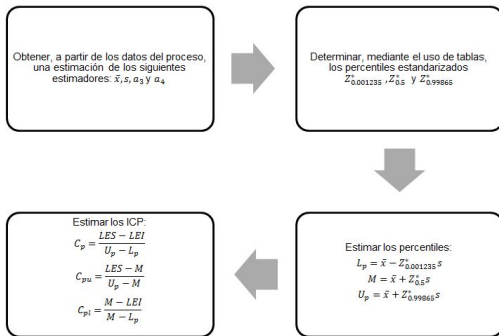
- Técnicas de transformaciones (Box-Cox)

$$x^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{x^\lambda - 1}{\lambda} & \text{si } \lambda \neq 0 \\ \ln(x) & \text{si } \lambda = 0 \end{cases}$$

donde el valor de λ es determinado usando el gráfico cuantil-cuantil.

Principales metodologías planteadas para abordar el problema

- Método de percentiles de Clements

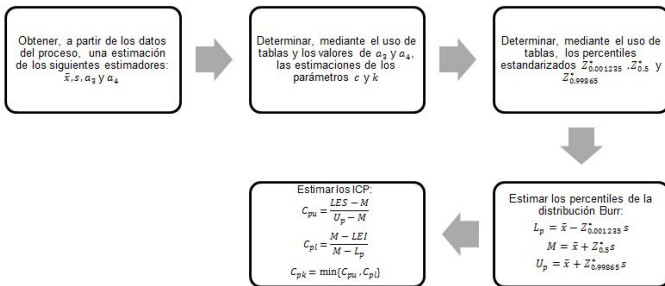


Principales metodologías planteadas para abordar el problema

- Método de percentiles de Burr

Distribución Burr Tipo XII

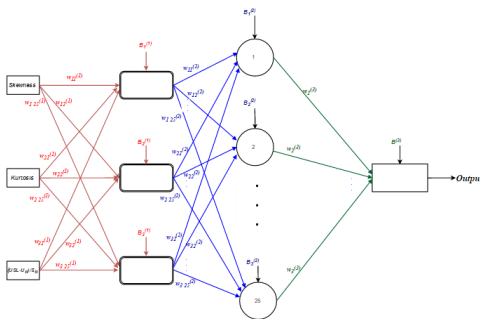
$$f(x|c, k) = \frac{k c x^{c-1}}{(1 + x^c)^{k+1}}; \quad x > 0, c > 0, k > 0$$



Hay muy pocos desarrollos teóricos y experiencias prácticas en la estimación de ICP sin supuestos distribucionales

- La mayoría de métodos propuestos generalizan el Método de Clements.
- Los métodos no tradicionales propuestos asumen la distribución teórica de los datos.
- Dichos métodos requieren el uso de tablas para obtener las estimaciones de los parámetros.

Abbasi (2009) propone usar una red neuronal para estimar el C_{pu}



$$Output = \mathbf{W}_{(1 \times 25)}^{(3)} \operatorname{tansign} \left[\mathbf{W}_{(25 \times 3)}^{(2)} \operatorname{tansign} \left(\mathbf{W}_{(3 \times 3)}^{(1)} \mathbf{X}_{(3 \times 1)}^T + \mathbf{B}_{(3 \times 1)}^{(1)} \right) + \mathbf{B}_{(25 \times 1)}^{(2)} \right] + \mathbf{B}_{(1 \times 1)}^{(3)}$$

Fuente: Ochoa y Cogollo (2016).

Abbasi (2009) propone usar una red neuronal para estimar el C_{pu}

Estimación del ICP:

$$C_{pu} = \max(0, \min(\text{Output}, 2.5))$$

Función de activación: $\text{tansign}(n) = \frac{2}{1 + e^{-2n}} - 1$

Algoritmo de entrenamiento: Los vectores de parámetros $\mathbf{W}^{(i)}, \mathbf{B}^{(i)}; i = 1, 2, 3$ se estiman a través del algoritmo back-propagation.
En total **se requieren estimar 138 parámetros (pesos)** de la red.

Función objetivo: Error Cuadrático Medio

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}$$

La red neuronal propuesta por Abbasi(2009) no estima correctamente el C_{pu} (Ochoa y Cogollo, 2016)

- Todas las estimaciones obtenidas con la red son cero: $\hat{C}_{pu} = 0$.

Output =

$$\mathbf{W}_{(1 \times 25)}^{(3)} \mathit{tansign} \left[\mathbf{W}_{(25 \times 3)}^{(2)} \mathit{tansign} \left(\mathbf{W}_{(3 \times 3)}^{(1)} \mathbf{X}_{(3 \times 1)}^T + \mathbf{B}_{(3 \times 1)}^{(1)} \right) + \mathbf{B}_{(25 \times 1)}^{(2)} \right] + \mathbf{B}_{(1 \times 1)}^{(3)}$$

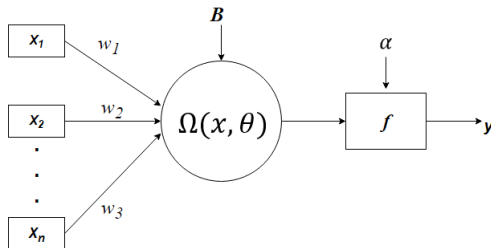
$$\Rightarrow \hat{C}_{pu} = \mathit{Max}(0, \mathit{Min}(\mathit{Output}, 2.5))$$

- No hay variaciones en el MSE obtenido en cada réplica:

$$\Rightarrow MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{pu} - \hat{C}_{pu})^2}{2n} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{pu}^2}{2n}$$

$$\Rightarrow MSE_g = \frac{\sum_{i=1}^n C_{pu}^2}{2n * 1550} \approx 0.0017$$

La red neuronal multiplicativa (ANNM) produce mejores resultados que la red tradicional



$$u = \Omega(\mathbf{x}, \theta) = \prod_{i=1}^n (w_i x_i + b_i)$$

$$\text{output} = \frac{1}{1 + e^{-u}}$$

La red neuronal multiplicativa (ANNM) produce mejores resultados que la red tradicional

La red ANNM se caracteriza por:

- Producir excelentes resultados en el pronóstico de series temporales.
- Sólo tiene una neurona en la capa oculta.
- Requiere estimar menos parámetros.
- Reduce el costo computacional en un 50%.
- Ochoa y Cogollo (2016), mostraron que ésta red puede ser empleada para estimar ICP .

La red neuronal multiplicativa (ANNM) produce mejores resultados que la red tradicional

Bajo las mismas consideraciones de Abassi:

- Variables de entrada: Asimetría, Kurtosis y $\frac{USL - \mu}{\sigma}$.
- Función objetivo: $\theta_{opt} = \arg \min_{\theta \in \mathbf{R}^m} \left\{ \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (C_{pu} - \hat{C}_{pu})^2 \right\}$
- Función de activación: $tansig = \frac{2}{1 + e^{-2n}} - 1$
- Estimación del ICP: $\hat{C}_{pu} = \text{Max}(0, \text{Min}(\text{Output}, 2.5))$

Resultados de Ochoa y Cogollo (2016)

- $MSE \approx 0.03758022$ (Promedio de 1550 réplicas)
- No es significativo el peso asociado al coeficiente de asimetría.
- Sólo se requieren estimar 4 o 5 parámetros.

Hipótesis de investigación

Es posible construir un modelo de redes neuronales multiplicativo para estimar los índices de capacidad de procesos con datos no normales, que no requiera asumir supuestos distribucionales, y tenga un mejor desempeño en tiempo computacional en comparación con los modelos ANN convencionales.

Condiciones para que se den aportes en la temática

- Es necesario realizar una formulación de una metodología de estimación de ICP usando una red neuronal cuyo método de modelado satisfaga un procedimiento formal de construcción paso a paso.
- Se requiere proponer una metodología de estimación de ICP que no dependa de la distribución de los datos, y que considere nuevas técnicas de estimación de parámetros que reduzcan el alto costo computacional del proceso de estimación, al tiempo que garantice la obtención de estimadores con propiedades estadísticas deseables.

Objetivo general

Proponer un modelo de redes neuronales artificiales multiplicativo, siguiendo un procedimiento formal de construcción, para estimar sin supuestos distribucionales los índices de capacidad de procesos no normales, de manera más precisa que los obtenidos con los modelos ANN convencionales.

Fases de la metodología propuesta

Etapa 1: Revisión bibliográfica y contextualización.

Etapa 2: Planteamiento del modelo ANNM bajo un proceso formal de construcción.

Etapa 3: Definición de método de estimación de los PCIs con datos no normales.

Etapa 4: Validación de la metodología propuesta.

Etapa 5: Documentación del proyecto.

Cronograma de actividades

Metas - Actividades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Etapa 1: Revisión bibliográfica y contextualización	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Etapa 2: Planteamiento del modelo ANNM bajo un proceso formal de construcción				■	■	■	■	■	■	■															
Etapa 3: Definición del método de estimación de los ICP con datos no normales										■	■	■	■	■	■										
Etapa 4: Validación de la metodología propuesta														■	■	■	■	■	■	■					
Etapa 5: Documentación del proyecto						■	■	■	■	■						■	■	■	■				■	■	■

Resultados esperados

- La especificación de un modelo de ANNM que permita modelar datos (de procesos industriales) alejados de la normalidad, siguiendo un proceso formal de construcción.
- El planteamiento de una metodología de estimación de ICP, que sea replicable y de bajo costo computacional.
- Evidenciar casos de aplicación reales de la metodología propuesta.

Resultados esperados

- Escribir y someter 2 artículos en revistas internacionales tipo ISI-SCOPUS, mínimo Q3.
- Presentar los resultados de la investigación en al menos un evento científico de carácter internacional.
- Dirigir una tesis de maestría y dos prácticas investigativas.
- Iniciar el diseño e implementación de una interfaz gráfica de usuario tipo web con los resultados del proyecto, tipo Spin-off, que a futuro pueda permitir la formulación y desarrollo de proyectos de investigación con financiación externa.

Referencias I



Ahmad, S. and Abdollahian, M and Zeepongsekul, P.(2008).
Process capability estimation for non normal quality characteristics: A comparison of Clements, Burr and Box Cox Methods.
ANZIAM Journal 49, 642-665.



Clements, A.(1989).
Process capability indices calculations for non-normal distributions.
Quality Progress 22, 95-100.



Chen, J.P. and Ding, C.G.(2001).
A new process capability index for non-normal distributions.
The International Journal of Quality & Reliability Management
18(6-7), 762-770.

Referencias II



Chang, Y.S. et al. (2002).

Process capability indices for skewed populations .

Quality and Reliability Engineering International 18, 383-393.



Pal, S.(2005).

Evaluation of Nonnormal Process Capability Indices using Generalized Lambda Distribution.

Quality Engineering 17, 77-85.



”Liu, P.H. and Chen, F.L. (2006).

Process capability analysis of non-normal process data using the Burr XII distribution.

International Journal of Advanced Manufacturing Technology,
27(9-10), 975-984.

Referencias III



Leung, B.P.K. and Spiring, F.(2007).

Adjusted action limits for Cpm based on departures from normality.

International Journal of Production Economics 107(1), 237-249.



Abbasi, B.(2009).

A neural network applied to estimate process capability of non-normal processes.

Expert Systems with Applications 36(2),3093-3100 .

Referencias IV



Hosseinifard, S.Z. and Abbasi, B. and Ahmad, S. and Abdollahian, M.(2009).

A transformation technique to estimate the process capability index for non-normal processes.

International Journal of Advanced Manufacturing Technology
40(5-6), 512-517.



Lee, W.C. and Wu, J.W. and Hong, C.W.. (2009).

Assessing the lifetime performance index of products with the exponential distribution under progressively type II right censored samples.

Journal of Computational and Applied Mathematics
231(2),648-656.

Referencias V



Li, D.C. and Lin, L.S.(2013).

A new approach to assess product lifetime performance for small data sets.

European Journal of Operational Research, 230(2), 290-298.



Wu, J.W. and Hong, C.W. and Lee, W.C.(2014).

Computational procedure of lifetime performance index of products for the Burr XII distribution with upper record values .

Applied Mathematics and Computation, 227(1), 701-716.



Yang, J. and Gang, T. and Cheng, Y. and Xie, M.(2015).

Process Capability Indices Based on the Highest Density Interval.

Quality and Reliability Engineering International 31, 1327-1335

Referencias VI



Weber, S. and Ressurreicao, T.and Duarte, C.(2016).

Yield Prediction With a New Generalized Process Capability Index Applicable to Non Normal Data.

IEEE Transactions on Computer Aided Design of Integrated Circuits and Systems 35(6), 931-942.



Kenyon, G.N. and Sale, R.S. and Hozak, K. and Chiou, P.(2016).

velopment of the yield based process capability index Cpy to flexibly and accurately measure conformance .

International Journal of Quality & Reliability Managemen 33(7), 882-899.

Referencias VII



Ochoa, M. and Cogollo, M.R.(2016).

Are Multiplicative Neural Networks able to estimate Process Capability Indices with non-normal distribution?.

Department of Mathematical Sciences, Universidad EAFIT, 10.



Kitchenham, B.A. (2004).

Procedures for Undertaking Systematic Reviews.

Computer Science Department, Keele University, 28.

Gracias por su atención

¿PREGUNTAS?

Prof. Myladis Cogollo, MSc, PhD.

mcogollo@eafit.edu.co

Grupo de Modelado Matemático

