

Control estadístico de procesos en la fabricación de varillas de acero

Statistical control process in manufacturing of steel rods

Karem Vélez Jiménez

Recepción: 24/11/2019 Aceptación: 20/01/2021 Publicación: 31/01/2021

Abstract The purpose of this article is to analyze compliance with quality controls in the production of steel rods in a steel company, considering the control limits established in the INEN 2167 standard and the thresholds suggested in previous analyzes; applying the statistical control of processes with univariate control charts, based on the data obtained in the daily reports of the finished product weighing scale, belonging to the Quality Control area of the last three months of 2019. For this purpose, the variables mass, creep and resistance are studied; and, other factors involved in the process are analyzed. According to the statistical methodology used, the process complies with the limits established in the aforementioned standard; however, non-compliance with the control limits suggested in a previous study was observed. In addition, the review for the year 2019 shows problems in production, such as the poor management of personnel.

Keywords INEN, process control, process control charts, steel rods.

Resumen El presente artículo tiene como finalidad analizar el cumplimiento de controles de calidad de la producción de varillas de acero en una empresa siderúrgica, considerando los límites de control establecidos en la norma INEN 2167 y los umbrales sugeridos en análisis previos; aplicando el control estadístico de procesos con cartas de control univariantes, a partir de los datos obtenidos en los informes diarios de la báscula de pesaje de producto terminado, pertenecientes al área de Control de Calidad de los últimos tres meses del año 2019. Para el efecto, se estudian las variables masa, fluencia y resistencia; y, se analizan otros factores involucrados en el proceso. De acuerdo con la metodología estadística empleada, el proceso cumple con los límites establecidos en la norma citada; no obstante, se observa incumplimiento de los límites de control sugeridos en un estudio previo. Además, en la revisión para el año 2019 se evidencia problemas en la producción, como es el caso del manejo

Karem Nickoll Vélez Jiménez, Magister en Estadística con mención en Gestión de la Calidad y Productividad

Investigador independiente, Guayaquil, Ecuador, e-mail: knvelez@espol.edu.ec, 
<https://orcid.org/0000-0002-9670-6280>

deficiente del personal.

Palabras Claves control de procesos, gráficos de control de procesos, INEN, varillas de acero.

1 Introducción

La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2167 establece los requisitos que deben cumplir las compañías dedicadas a la elaboración de las varillas de acero 12 mm que son utilizadas para la construcción (Servicio Ecuatoriano de Normalización, INEN, 2017). El proceso consiste en realizar un muestreo de un lote (conjunto de varillas del mismo grado, procedente de una misma campaña de producción en serie) y verificar que cumplan con las precisiones físicas y dimensionales de esta norma. Si los resultados no son los esperados, deben ser rechazados. Posteriormente, se plantea mejorar este proceso para evitar productos defectuosos y reprocesos, ya que esto conlleva a costos adicionales y disminución de ganancias.

Además de las normas de control de la producción, las técnicas estadísticas juegan un rol importante como estudio analítico en el monitoreo de procesos, ya que pueden considerarse como una base sobre el sistema de causas para el mejoramiento del producto final (Deming, 1975). Tal es el caso del control estadístico de procesos o CEP (Pérez, 2004) y particularmente de las cartas de control (Chen y Cheng, 2011; Woodall y Ncube, 1985; Restrepo Tamayo, 2013), las cuales, inclusive, se han percibido como la mejor forma de monitorear los procesos de producción (Aparisi, 1996).

Esta técnica ha sido aplicada en producciones varias. Vélez y Plata (2018) realizaron un estudio sobre la producción de varillas de acero concluyendo que el proceso y, por ende, sus resultados en el control estadístico son sensibles a factores cualitativos subyacentes al proceso, e.g. inconvenientes por la falta de supervisión idónea.

Considerando las recomendaciones de Vélez y Plata (2018), en cuyo trabajo proponen nuevos límites de control al proceso en cuestión; el presente estudio da seguimiento a los resultados de la producción de varillas de acero de los últimos tres meses del año 2019, midiendo masa, resistencia y fluencia de los artículos producidos en una muestra de tamaño 96, para verificar el cumplimiento de la norma INEN 2167 y de los límites propuestos por Vélez y Plata (2018).

2 Materiales y Métodos

2.1 Muestra

El análisis está compuesto por una muestra de 96 varillas de acero de una empresa siderúrgica, a las que se les midió fluencia, resistencia y masa. La muestra analizada corresponde al mes de diciembre del año 2019. Durante la fabricación de varillas, el proceso de toma de muestras se realiza en dos tiempos, la primera observación de varillas de acero se selecciona antes del tratamiento de presión de agua y aire comprimido y la segunda al finalizar este proceso.

2.2 Cartas de control para \bar{x} y R

Como paso previo, se realizó un análisis de causas asignables. Aquellas observaciones producto de las causas asignables fueron eliminadas del grupo de datos a analizar con los gráficos de control.

Posteriormente, se elaboraron cartas de control para media y rango, como herramienta del control estadístico de procesos sobre las variables, considerando el cumplimiento de los fundamentos teóricos del control estadístico de procesos: distribución normal tanto en las variables a estudiarse, como en las medias muestrales de las mismas (Ruiz-Falcó, 2006).

2.2.1 Límites de control de prueba

Los límites de control considerados para analizar las cartas de control \bar{x} y R fueron estimados mediante las ecuaciones (1) y (2).

$$\mu + Z_{\alpha/2}\sigma_{\bar{x}} = \mu + Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

$$\mu - Z_{\alpha/2}\sigma_{\bar{x}} = \mu - Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

Para verificar si el proceso está dentro del control establecido, se considera como referencia a los límites de la norma INEN 2167 (Servicio Ecuatoriano de Normalización, INEN, 2017) y los límites de control sugeridos por Vélez y Plata (2018).

La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2167 establece los requisitos que deben cumplir las varillas de acero de 12 milímetros con resaltes, laminadas en caliente que son utilizadas para aplicaciones donde la restricción de las propiedades mecánicas y composición química son requeridas para compatibilidad con las aplicaciones de las propiedades mecánicas controladas o para mejorar la soldabilidad. La norma define

las características físicas, longitud, masa y tracción, que deben tener. En caso de aceptación, la empresa debe especificar que cuenta con certificados de conformidad con normas emitidas por el INEN (Servicio Ecuatoriano de Normalización, INEN, 2017).

Tabla 1: Límites de las variables según NTE INEN 2167

Variable	Límite Mínimo	Límite Máximo
Masa	-6 %	6 %
Fluencia	420	540
Resistencia a la tracción	550	> 550

Fuente: Servicio Ecuatoriano de Normalización, INEN (2017)

Así también, se consideran como referencia de control a los límites sugeridos por Vélez y Plata (2018).

Tabla 2: Límites de Control – Año 2017

Variable	Límite Mínimo	Límite Máximo
Masa	-4 %	-2 %
Fluencia	441	480
Resistencia a la tracción	587	624

Fuente: Elaboración propia

Si todos los puntos resultantes se encuentran ubicados dentro de dichos límites de control y no existe algún comportamiento inusual, se determina que los límites de control son apropiados para el proceso (Govindaraju y Lai, 2004). Esto se hace examinando cada uno de los puntos fuera de control, buscando una causa asignable. Si no se encuentra una causa asignable, el punto se descarta y los límites de control de prueba se calculan de nuevo utilizando únicamente los puntos restantes, este tipo de casos es necesario analizar. En el caso de que no se encuentre alguna causa asignable del punto fuera de control, se descarta y se realiza un nuevo gráfico con los puntos restantes, y se realiza un nuevo análisis encontrando los nuevos límites para el proceso (Montgomery, 2011).

Además, se empleó el informe otorgado por el Departamento de Calidad de la unidad de investigación para realizar la comparación correspondiente al segundo análisis de los gráficos estadísticos. Dicho informe contiene la cantidad de materia prima a utilizar, el importe de producción y mermas. Esta información se registra regularmente en el proceso de laminación, específicamente varillas de acero de 12 milímetros, una vez terminado el proceso de producción.

2.2.2 Estimación de la capacidad del proceso

Una vez establecidos los nuevos límites de control, límite superior (USL) y límite inferior (LSL) se determina la capacidad del proceso tal cual se observa en la ecuación (3), (Moya Fernández, 2017).

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (3)$$

Para este índice existen ciertos comportamientos (Cabezón Gutiérrez, 2014):

- cuando $C_p = 1$, el proceso tiene un número relativamente pequeño de productos disconformes, la estimación es de 0,3 %;
- en un segundo caso, $C_p < 1$ el proceso fabrica un número mayor de disconformes que 0,3 %, pero se encuentra bajo la normalidad;
- en el tercer caso, $C_p > 1$ el proceso fabrica una proporción de defectuosos inferiores al 0,3 %.

3 Resultados

3.1 Análisis de causas asignables

Producto del análisis de causas asignables realizado, se identificaron inconvenientes como: daños en la maquinaria, fallas por cambios de turno, poca supervisión por parte de los responsables del proceso, entre otros.

3.2 Masa

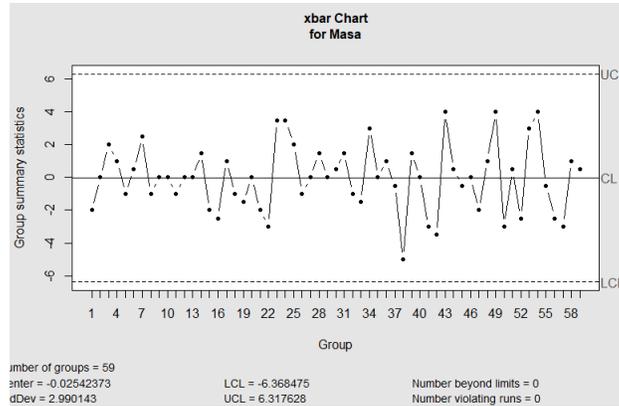


Figura 1: Cartas de control X_{Masa} . La gráfica contiene una “línea central” (LC) $-0,02542373$, una línea superior que marca el “límite superior de control” (LSC) cuyo valor es de $6,317628$, y una línea inferior que marca el “límite inferior de control” (LIC) el cual es $-6,368475$.

Fuente: Empresa siderúrgica

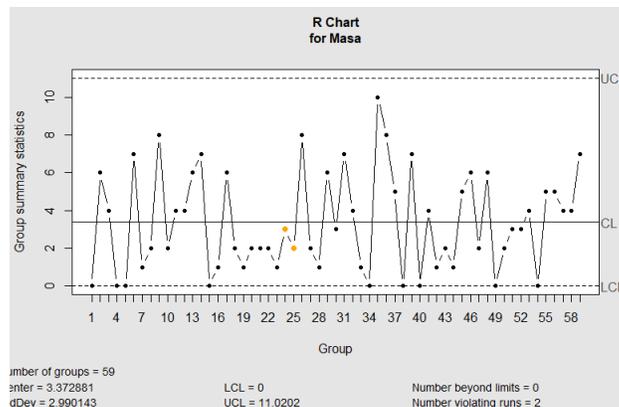


Figura 2: Cartas de control R_{Masa} . Se evidencia que la variabilidad del proceso se encuentra entre los límites establecidos. La capacidad del proceso es de $3,169142$, ya que el valor es mayor a uno, esto indica un número menor de disconformes, el cual es menor al $0,3\%$ del total de la producción.

Fuente: Empresa siderúrgica

3.3 Fluencia

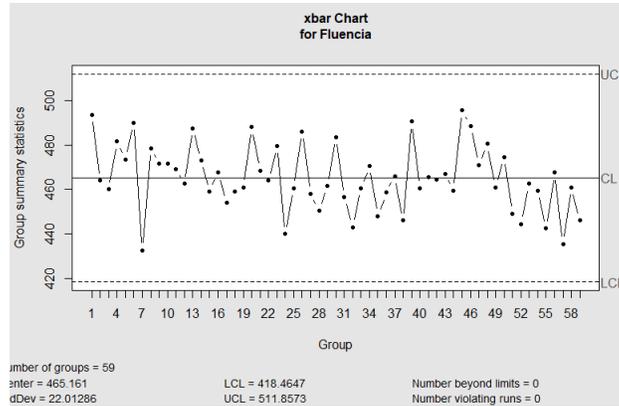


Figura 3: Cartas de control $X_{Fluencia}$. La gráfica contiene una “línea central” (LC), una línea superior que marca el “límite superior de control” (LSC) de 511,8573, y una línea inferior que marca el “límite inferior de control” (LIC) el cual es 418,4647.

Fuente: Empresa siderúrgica

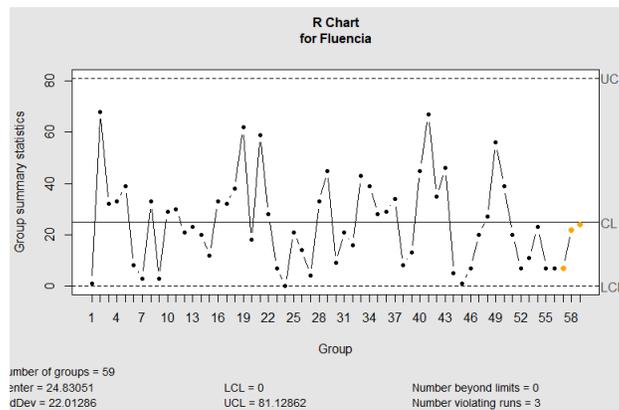


Figura 4: Cartas de control $R_{Fluencia}$. Se evidencia que la variabilidad se encuentra entre los límites. La capacidad del proceso es de 2,259964. El valor es mayor a uno lo que indica un número menor de disconformes, el cual es menor al 0,3 % del total de la producción.

Fuente: Empresa siderúrgica

3.4 Resistencia

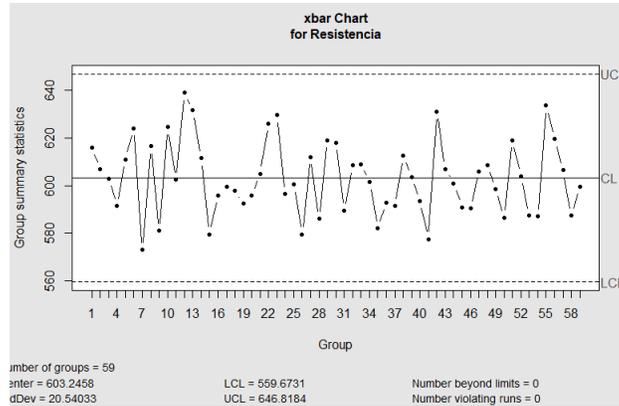


Figura 5: Cartas de control $X_{Resistencia}$. La gráfica contiene una “línea central” (LC), una línea superior que marca el “límite superior de control” (LSC) que en este caso es de 646,8184, y una línea inferior que marca el “límite inferior de control” (LIC) el cual es 559,6731. Puede observarse que los puntos se encuentran dentro de los límites de control. Además, la gráfica tiene un comportamiento cíclico.

Fuente: Empresa siderúrgica

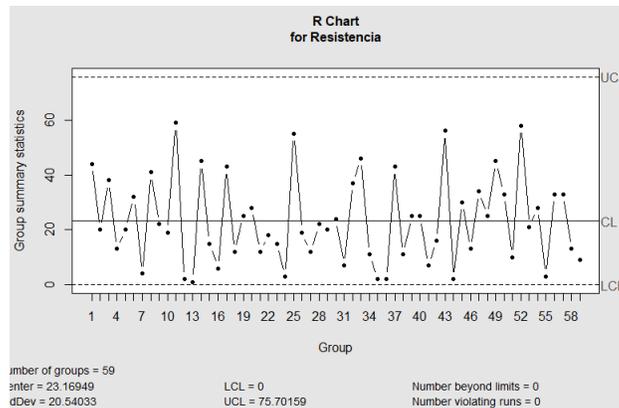


Figura 6: Cartas de control $R_{Resistencia}$. Se evidencia la variabilidad del proceso, la cual se encuentra en los límites de control. La capacidad del proceso es de 2,081494, el valor es mayor a uno lo que indica un número menor de disconformes, menor al 0,3 % del total de la producción.

Fuente: Empresa siderúrgica

4 Conclusiones

Al replicar en 2019 la metodología usada en el 2017 por Vélez y Plata (2018) para el control estadístico de procesos, se obtuvo como resultado que el proceso de fabricación de varillas no se encontraba bajo control, dado que, existían puntos fuera de los límites. Los resultados apuntan a que el proceso cumplió los requerimientos establecidos por la norma técnica INEN 2167; no obstante, los puntos muestreados estuvieron fuera de control, al considerarse los límites de control sugeridos en el análisis realizado por Vélez y Plata (2018), lo que indicaría que la empresa no ha seguido las recomendaciones de dicho estudio.

En el año 2017, se le recomendó a la empresa realizar capacitaciones y fomentar la importancia en el cumplimiento de los nuevos límites (Tabla 2) los cuales disminuirían errores. Al realizar la comparación en el 2019 con respecto a los equívocos en el ingreso y toma de muestra, disminuyeron en un 40 % a la revisión de los informes del Departamento de Calidad. Cabe indicar que la empresa está cumpliendo con los límites establecidos (Tabla 1) por la norma técnica INEN 2167; la justificación para no tomar en cuenta los límites propuestos en el 2017, fue la disminución del presupuesto de la empresa motivo por el cual se complicó el cumplir con los límites propuestos (Tabla 2). Durante el análisis los límites superiores de las gráficas con los propuestos varían en promedio un 30 %, para cada una de las variables (Masa, Resistencia y Fluencia).

Los resultados del presente estudio resaltan la importancia del control estadístico de procesos como análisis fundamental en las empresas de manufactura, confirmando la prioridad que tiene la metodología en el monitoreo de procesos, afirmada por Aparisi (1996). Este análisis cuantitativo se potencia cuando se siguen estándares de calidad como la norma INEN 2167 para su distribución, en el caso de la industria siderúrgica. En términos generales, su importancia es alta en el área de construcción, donde una falla en la fabricación, es decir, la falta de cumplimiento de los estándares, pudiera ocasionar rotura o corrosión, que afectaría significativamente a las edificaciones.

Respecto al análisis cuantitativo, los límites propuestos en el trabajo de Vélez y Plata (2018) resultaron inadecuados para el monitoreo de la dinámica del proceso; ya que este demanda de un monitoreo continuo a lo largo del tiempo, de manera que los límites se vayan ajustando progresivamente; además, la poca accesibilidad a los datos para efectos de análisis, conduce a resultados difíciles de ser objeto de trazabilidad, aun cuando la capacidad de proceso calculada resultó mayor que 1.

Por último, el estudio actual cubrió únicamente la fase 1 para el análisis multivariante de las variables de estudio (Masa, Resistencia y Fluencia); abriendo paso a futuros estudios que continúen con un análisis que contemple las relaciones multivariantes subyacentes al proceso.

5 Bibliografía

Referencias

- Aparisi, F. (1996). A comparison between the simultaneous use of Shewhart charts and the use of the T^2 control chart. *Proceedings of the Section of Physical and Engineering Sciences of the American Statistical Association*, 34(10), 275-280. doi: 10.1080/00207549608905062
- Cabezón Gutiérrez, S. (2014). *Control de calidad en la producción industrial* (Tesis de Grado). Universidad de Valladolid, Valladolid, España.
- Chen, P.-W., y Cheng, C.-S. (2011). On statistical design of the cumulative quantity control chart for monitoring high yield processes. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 40(11), 1911-1928. doi: 10.1080/03610920903391329
- Deming, W. E. (1975). On Probability as a Basis for Action. *The American Statistician*, 29(4), 146-152. doi: 10.2307/2683482
- Govindaraju, K., y Lai, C. D. (2004). Run length variability and three sigma control limits. *Stochastics and Quality Control*, 19(2), 175 - 184. doi: 10.1515/EQC.2004.175
- Montgomery, D. C. (2011). *Control estadístico de calidad*. New York: Limusa Noriega.
- Moya Fernández, P. J. (2017). *Nuevas aportaciones y análisis de la estimación del índice de capacidad de un proceso* (Tesis Doctoral). Universidad de Granada, Granada, España.
- Pérez, C. (2004). *Técnicas de análisis multivariante de datos*. Madrid, España: Pearson Educación S.A.
- Restrepo Tamayo, L. M. (2013). *Cartas de control para procesos con variables multinomiales* (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Medellín, Colombia.
- Ruiz-Falcó, A. (2006). Control estadístico de procesos. *Universidad Pontificia, Madrid*.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización, INEN. (2017). *NTE INEN 2167, Vari-llas corrugadas y lisas de acero al carbono laminadas en caliente, soldables, microaleadas o termotratadas, para hormigón armado*. Requisitos (Tercera ed.).

- Vélez, K., y Plata, W. (2018). *Análisis de la fabricación de varillas de acero aplicando control estadístico y gestión por procesos*. (Tesis de Maestría). ESPOL, Guayaquil, Ecuador.
- Woodall, W. H., y Ncube, M. M. (1985). Multivariate CUSUM quality-control procedures. *Technometrics*, 27(3), 285–292. doi: 10.1080/00401706.1985.10488053