



### Referencia

Ríos Calderón, C. A. (2022). Diseño de muestreo para estimar la cantidad de lotes defectuosos causados por desajustes en equipos semiautomáticos de acabado industrial en distintas líneas de producción en un proceso de troquelado metálico. *Revista Científica del Sistema de Estudios de Postgrado*. 5(2).77-89.  
DOI: <https://doi.org/10.36958/sep.v5i2.100>

## **Diseño de muestreo para estimar la cantidad de lotes defectuosos causados por desajuste en equipos semiautomáticos de acabado industrial en distintas líneas de producción en un proceso de troquelado metálico**

**Sampling design to estimate the quantity of defective lots caused by maladjustment in semiautomatic industrial finishing equipment in different production lines in a metallic die cut process**

**Carlos Alberto Ríos Calderón**

Maestro en Sistemas Integrados de Gestión  
Universidad Internacional de La Rioja  
carlosrios.gt@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-0842-4057>

**Recibido:** 31/03/2022

**Aceptado:** 12/10/2022

**Publicado:** 04/11/2022

### Resumen

**PROBLEMA:** en los equipos industriales, derivado del uso y los desgastes propios de los materiales que conforman los mismos, se obtiene como resultado desviaciones a las especificaciones esperadas del producto fabricado, por lo que es conveniente adicionar un método estadísticamente válido para la estimación de los lotes fallidos. **OBJETIVO:** se requiere la estimación de la cantidad de lotes fallidos obtenidos en equipos con desperfectos derivados de desajustes para la creación de programas que permitan proyectar mantenimientos predictivos. **MÉTODO:** al adoptar técnicas estadísticas que permitan anticipar los desajustes que se presentan en las máquinas, dichos problemas podrían ser prevenidos a través de la adquisición de instrumentos destinados específicamente al monitoreo. Es por ello que se realizó un diseño de muestreo bi-etápico por conglomerados, que permitió evidenciar el comportamiento total estimado en los equipos de las distintas líneas de producción. **RESULTADOS:** considerando la magnitud del tamaño de los lotes defectuosos, se desarrolló un diseño de muestreo experimental, con el fin de obtener información temprana con relación a la estimación de lotes fallidos. **CONCLUSIONES:** se obtuvo a un bajo costo, una herramienta de estimación estadística para la evaluación de lotes considerados defectuosos, mediante el diseño de una herramienta de muestreo en dos fases.

### Palabras claves

muestreo, bi-etápico, conglomerados, mantenimiento, procesos

## Abstract

**PROBLEM:** in industrial equipments, derived from the proper use and utilization of the materials that compose them, deviations from the expected specifications of the manufactured product are obtained as a result, so it is convenient to add a statistically valid method for the estimation of failed batches. **OBJECTIVE:** the estimation of the number of failed batches obtained in equipment with damage derived from maladjustment is required for the creation of programs that allow projecting predictive maintenance. **METHOD:** by adopting techniques that allow anticipating the maladjustments that occur in the machines, these problems could be prevented through the acquisition of instruments specifically designed for monitoring. That is why a two-stage demonstration design by conglomerates was carried out, which demonstrated the estimated total behavior in the equipment of the different production lines. **RESULTS:** considering the magnitude of the size of the defective batches, an experimental sampling design was developed in order to obtain early information regarding the estimation of failed batches. **CONCLUSIONS:** it was obtained at low cost, a statistical estimation tool for the evaluation of batches considered defective, through the design of a sampling tool in two phases.

## Keywords

sampling, two-stage, cluster, maintenance, process

## Introducción

Por la importancia de los equipos, dada la automatización de los procesos productivos en la industria, es importante considerar su correcto desempeño aun en condiciones controladas. Este estudio independiente realizado en esta industria permitió realizar un diseño de muestreo donde se estimó, de una forma estadísticamente válida, la cantidad de lotes defectuosos que se tiene en toda la planta. Si se conocen también las características de operación correctas en los equipos, es posible obtener un plan de mejora continua que permita optimizar los procesos de operación, siendo este punto donde el mantenimiento predictivo tiene un rol importante y valioso. Cabe mencionar que, en estos casos, el poder reproducir la cantidad estimada de lotes defectuosos, es una información de gran valor para este propósito.

Aunque las máquinas estén dentro de los parámetros aceptables de operación, el considerar siempre su perfeccionamiento como un proceso de mejora continua sobre todo en plantas que busquen evolucionar hacia un sistema de Industria 4.0, el diseño de muestreo estadístico permite estimar variables de control que permiten evaluar, controlar y también aumentar la eficiencia y percibir mejores beneficios, no solo por la reducción en la cantidad de unidades defectuosas, sino también en la optimización de recursos derivados como lo son menos desperdicios, mínimos re-procesos y mejor tiempo efectivo del equipo. Es allí donde es importante conocer esta estimación, y un correcto diseño por muestreo que cumpla estadísticamente el objetivo de reproducir estas variables de forma confiable, es imprescindible.

## Materiales y métodos

El estudio se realizó a través del diseño de un muestreo por conglomerados en dos etapas. El diseño del estudio fue con un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo transversal y se consideró a partir de las premisas siguientes.

La planta de producción, en su forma más simple, necesitó estimar la cantidad de lotes fallidos para una industria que cuenta con la siguiente infraestructura, 240 máquinas semiautomáticas que se han distribuido homogéneamente de una forma balanceada al flujo de producción continua.

Se cuenta con 15 líneas de producción en las cuales se ha decidido por cuestiones de costos inherentes y tiempo, proceder al muestreo del 30% de las máquinas en 5 de las líneas, tomadas de forma irrestricta aleatoria. Se asume que los costos por recabar dichas observaciones son iguales. Debido a la complejidad del estudio, radicó más en la revisión y confirmación de la información obtenida mediante bitácoras y reportes inspeccionados. El diseño de muestreo por conglomerados en dos etapas quedó definido de esta forma:

Tabla 1: Análisis de datos para el diseño de muestreo elegido.

Línea	$M_i$	%	$m_i$	$\bar{x}_i$
1	12	0.3	4	12.0000
2	15	0.3	5	10.4000
3	20	0.3	6	12.1667
4	15	0.3	5	12.8000
5	17	0.3	6	9.8333

Dónde:

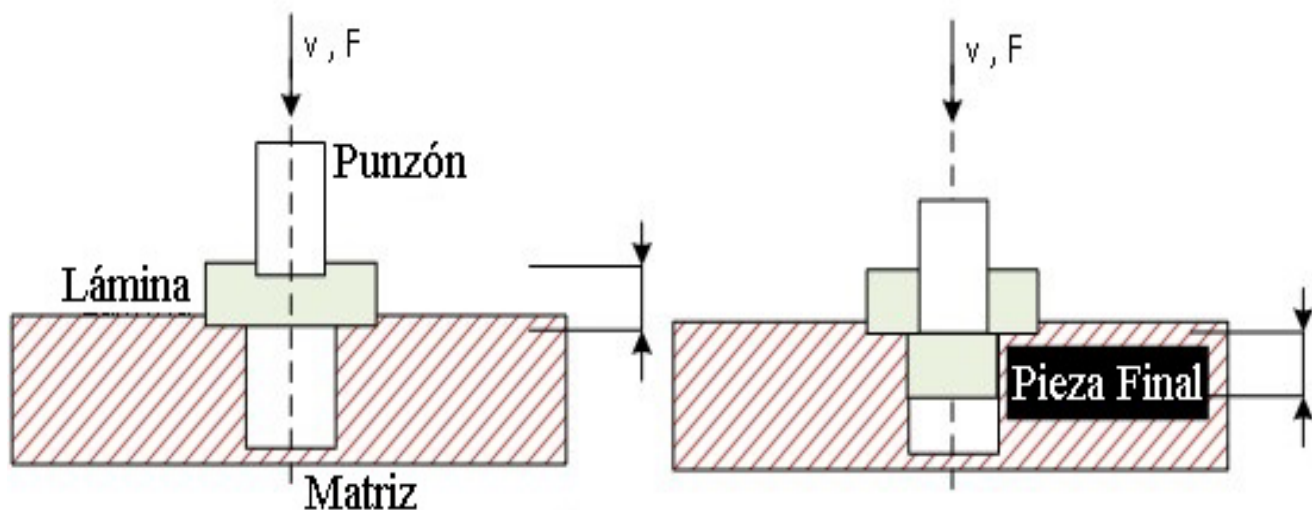
$M_i$  = Número de elementos en el conglomerado  $i$ .

$m_i$  = Número de elementos seleccionados en una muestra aleatoria del conglomerado  $i$ .

$\bar{x}_i$  = Media muestral para el  $i$ -ésimo conglomerado.

Como se observa en la siguiente figura, parte del proceso de acabado final de las piezas, consiste en un troquelado mecánico definido a continuación, de la forma más objetiva.

Figura 1. Ilustración breve del proceso.



Los desperfectos se presentaban mediante el incremento del desajuste de la máquina, que producía con defectos perceptibles a los parámetros de control que se tienen definidos. Una vez que se desarrolló el diseño muestral, se procedió a la observación de los equipos seleccionados y a la revisión de las bitácoras de producción, para confirmar las cantidades reportadas y corroborar que la fuente de variación en los equipos se dio por desajustes. Esto con la finalidad de obtener las lecturas requeridas, para poder hacer las estimaciones oportunas de las variables definidas.

Los análisis pertinentes del estudio de muestreo por conglomerados bi-etápico, están sustentados por la referencia teórica tomada con base en lo planteado por Scheaffer et al. (1987), en el planteamiento de los diseños muestrales. El estimador de la media poblacional, está definido por:

$$\hat{\mu} = \left(\frac{N}{M}\right) \frac{\sum_{i=1}^n M_i \bar{Y}_i}{n}$$

Se ha establecido que el objetivo que se espera alcanzar en la aplicación del diseño de muestreo es hacer inferencias acerca de la variable que se está estudiando. El estimador del total poblacional, está dado por:

$$\hat{\tau} = M \hat{\mu} = N \frac{\sum_{i=1}^n M_i \bar{Y}_i}{n}$$

Dónde:

M = Número de elementos totales de la población.

N = Número de conglomerados de la población.

$\hat{\mu}$  = Estimador de la media poblacional

$\hat{\tau}$  = Estimador del total de la población.

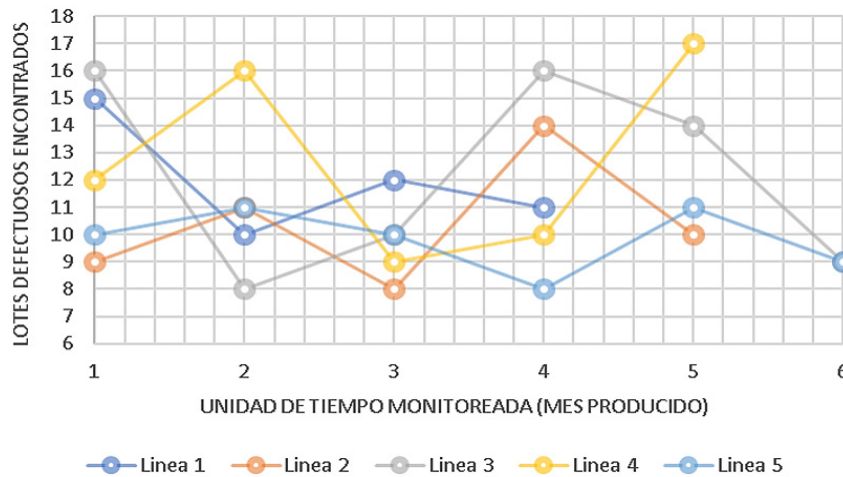
La forma de hacerlo es estimando los parámetros de la población que se desea inferir. Estimar la media poblacional (1) podría concluirse como el valor medio de los lotes rechazados. El total poblacional, el cual está definido en (2), es el estimador del parámetro que representa la población total o el total de la variable de estudio con un nivel de significancia estadística. En este proyecto se estimó con 95% de confianza para ambos parámetros.

## Resultados

Al final del estudio se obtuvo un intervalo de confianza al 95% que contiene los valores reales de los parámetros estimados, cuyo fin es obtener la información de la cantidad de lotes fallidos, de forma correcta para una buena toma de decisiones.

Los datos obtenidos de lotes defectuosos encontrados en las distintas líneas de producción fueron colocados en una gráfica de dispersión, unidas con líneas rectas y marcadores, para su visualización de forma más ordenada. Derivado del diseño muestral se obtuvieron los datos recogidos del estudio, como se observa para cada conglomerado definido en el gráfico que se presenta a continuación.

Figura 2. Comportamiento de las observaciones.



A partir de estos datos históricos y haciendo uso de las ecuaciones definidas en el diseño del muestreo, se procedió a la estimación de los parámetros poblacionales.

### Análisis y discusión

Se pudo evidenciar que la muestra tomada de la variable estudiada representó de una forma bastante certera el total de los lotes defectuosos de todas las máquinas de la planta. Se muestra la tabulación de los resultados obtenidos.

Tabla 2. Presentación de resultados.

Variable de Estudio	Símbolo	Magnitud	Descripción
Número de elementos totales de la población	M	240	Cantidad total de máquinas en la planta
Numero de conglomerados de la población muestreada	N	15	Líneas de producción totales
Número de conglomerados seleccionados en una muestra irrestricta aleatoria	n	5	Líneas de producción definidas como conglomerados muestrales
Estimador de la media poblacional	$\mu$	11	Media de lotes estimada
Estimador total poblacional	$\tau$	2708	Total de lotes estimado

Con 95% de confianza se concluyó que la estimación de la cantidad total de lotes fallidos y la media de lotes defectuosos producidos por desajuste por cada línea está dada por estos límites:

Tabla 3. Límites para los parámetros estadísticos.

LI	Variable	LS
9.41175283	$\leq \mu \leq$	13.1507472
2258.82068	$\leq \tau \leq$	3156.17932

Los intervalos de confianza que se definen para los parámetros estadísticos están determinados con una significancia del 5%. Se observa que ambos estimadores están trazados dentro de los límites, por lo que se concluye que estos valores son estadísticamente válidos para el cálculo estimado de las variables de estudio.

Figura 3: Gráfico de trazado de parámetros estadísticos para la media de lotes estimada.

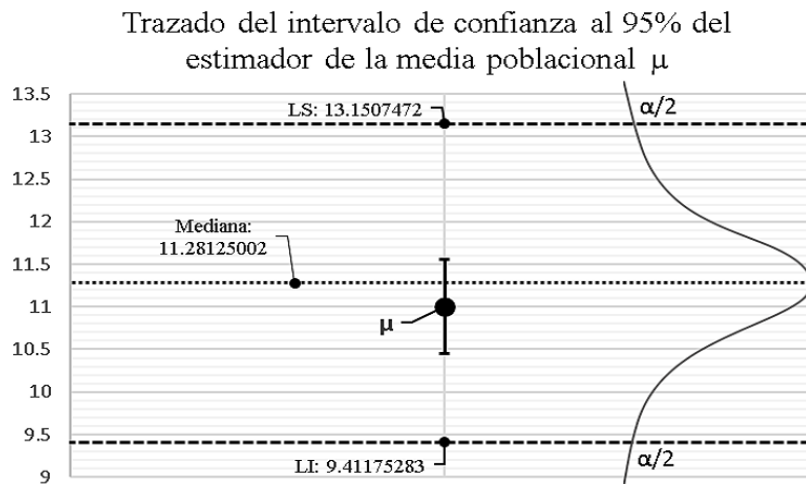
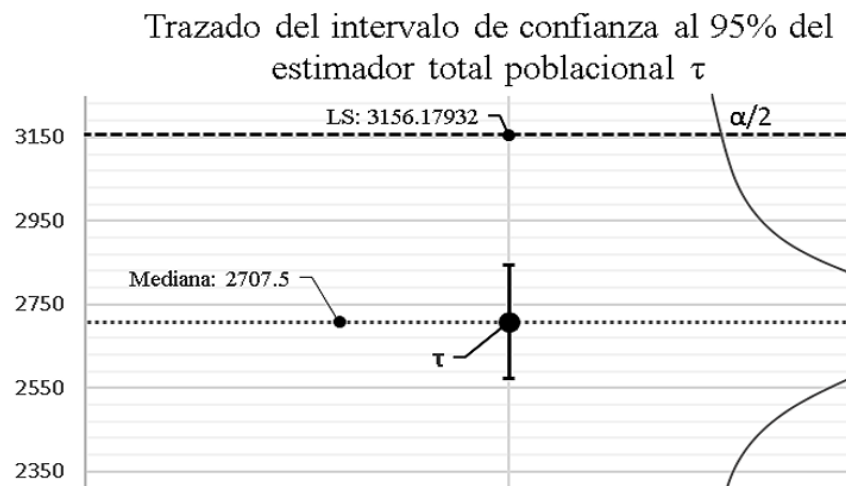


Figura 4: Gráfico de trazado de parámetros estadísticos para el total de lotes estimado.





Como lo mencionan Klinger et al. (2009), en los resultados de su proyecto donde se buscó estimar una cantidad representativa de la población del estudio, mediante un diseño de muestreo bi-etápico, les permitió obtener datos confiables sin desviaciones que se atribuyeran a sesgos. Este método se recomienda en el diseño de muestreo de poblaciones con características homogéneas que permitan la definición de conglomerados.

Se puede evidenciar que la cantidad estimada de lotes defectuosos para esta industria está dada por el estimador total poblacional lo que permite definir la cantidad de lotes fallidos encontrados. Esta información permite ser usada para calcular los costos inherentes a reprocesos, desperdicios, paros no programados, tiempo efectivo no utilizado, mano de obra directa en el proceso, costos de materiales no utilizados y cualquier otro en el que podría incurrirse debido a la aparición de estos lotes defectuosos.

## Conclusiones

A partir del objetivo del estudio que fue determinar estadísticamente la cantidad de lotes fallidos mediante un diseño de muestreo, se obtuvo con un intervalo de confianza del 95% la definición de los límites para los parámetros estadísticos del estimador de la media poblacional y el estimador total poblacional.

La estimación de los parámetros estadísticos permite conocer la cantidad de lotes defectuosos en esta industria, accediendo al cálculo de los costos que se incurren por producciones fallidas, lo que permite justificar de forma correcta la creación de programas de mantenimiento predictivo mediante la adquisición de instrumentos de monitoreo en las máquinas, para la mejora del proceso de operación.

Aunque la cantidad de lotes producidos con defectos sea poco en comparación con la cantidad total producida y que, por economías de escala, los costos incurridos por lotes defectuosos no generen un impacto económico, se recomienda una evaluación beneficio-costos en cuanto a la inversión en tecnología de instrumentación de monitoreo en los equipos y la ejecución de un proyecto de inversión para mantenimiento predictivo.

Cumpliendo con la metodología de mejora que se debe seguir en las industrias que trabajan con procesos controlados, es necesaria la incorporación de programas de mejora continua, como parte de sus procesos.

## Perspectiva del futuro

El diseño estadístico experimental permitió, a un bajo costo, obtener una evaluación ajustada y verosímil de los lotes estimados de producto defectuoso a través de la herramienta de muestreo. Esto se logra, en parte, debido a que la planta cuenta con procesos balanceados en relación con los flujos de producción, por lo que, asumir homogeneidad en los datos, es respaldado por esta suposición.



Es recomendable la implementación de un plan de mantenimiento predictivo, ya que se puede estimar la cantidad de lotes considerados por línea, conocida mediante el parámetro estadístico para la media de lotes estimada. Esta información ayudaría a desarrollar un correcto plan para esta planta de producción, mediante la implementación de tecnología que permita monitorear los equipos, anticipando problemas de desajustes o de otra índole.

## Referencias

- Besterfield, D. (1994). Control de calidad. México: 4ta. edición. Pearson Prentice-Hall. Disponible en: <https://biblos.usac.edu.gt/library/index.php?title=12347>
- Gutiérrez, H. y de la Vara, R. (2013). Control estadístico de la calidad y Seis Sigma. México: 3ra. edición. McGraw Hill Editores. Disponible en: <https://biblos.usac.edu.gt/library/index.php?title=577518>
- Klinger, R. Olaya, J. Marmolejo, L. Madera C. (2009). Plan de muestreo para la cuantificación de residuos sólidos residenciales generados en las zonas urbanas de ciudades de tamaño intermedio. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. Volumen 1 Abr/Jun 2009. (No.48). pp.76-86. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n48/n48a08.pdf>
- Scheaffer, R. Mendelhall, W. Ott, L. (1987). Elementos de Muestreo. México: Tercera edición. Grupo editorial Iberoamérica. Disponible en <https://biblos.usac.edu.gt/library/index.php?title=9409>
- Walpole, R., Myers, R., Myers, y S. Yeng, K. (2012). Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. México: 9na. edición. Pearson Prentice-Hall. Disponible en: <https://biblos.usac.edu.gt/library/index.php?title=577456>

## Sobre el autor

### Carlos Alberto Ríos Calderón

Es Ingeniero Industrial e Ingeniero Mecánico, Maestro en Estadística Aplicada, por la Universidad de San Carlos de Guatemala. Maestro en Sistemas Integrados de Gestión, por la Universidad Internacional de La Rioja. Más de diez años de experiencia como ingeniero de procesos, manejo e implementación de sistemas de gestión de calidad, control estadístico de procesos y programas de mejora continua en industria.

## Financiamiento de la investigación

Con recursos propios.

## Conflicto de intereses

Declara no tener ningún conflicto de intereses, que puedan haber influido en los resultados obtenidos o en las interpretaciones propuestas.

## Declaración de consentimiento informado

El estudio se realizó respetando el Código de ética y las buenas prácticas editoriales de publicación.

## Derecho de uso

Copyright (c) (2022) por Carlos Alberto Ríos Calderón

Este texto está protegido por la [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional](#).



Este texto está protegido por una licencia  
[Creative Commons 4.0](#).

Es libre para compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente, siempre que cumpla la condición de atribución: debe reconocer el crédito de una obra de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace.