



Encuentro Internacional de  
Educación en Ingeniería ACOFI

**GESTIÓN, CALIDAD Y DESARROLLO  
EN LAS FACULTADES DE INGENIERÍA**

Cartagena de Indias, Colombia  
18 al 21 de septiembre de 2018



# **PRÁCTICA DE LABORATORIO PARA CONTROL DE CALIDAD EN LA FABRICACIÓN DE UN PRODUCTO**

**Andrés Eduardo Muñoz Moreno, María Elena Bernal Loaiza**

**Universidad Tecnológica de Pereira  
Pereira, Colombia**

## **Resumen**

El control estadístico de procesos brinda herramientas como las gráficas de control que permiten monitorear la variabilidad de los procesos. Con base a lo anterior se desarrolla una práctica que buscó simular el proceso de ensamble de un producto (carro). El ambiente donde se realizó la práctica es un laboratorio de manufactura flexible que se encuentra en las instalaciones del programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira.

La actividad experimental cuenta con cinco estaciones de trabajo que son distribuidas a lo largo de la banda transportadora, en cada estación de trabajo hay un estudiante con las partes para ensamblar; dada la orden de empezar a ensamblar el producto, se toman tiempos de ensamble en cada puesto y se registran en un histórico.

Seguidamente por medio de los históricos se realiza una gráfica  $\bar{X}$ -R (determina si la producción es consistente respecto a un valor medio preestablecido) donde se localiza un límite superior y un límite inferior de control y se empieza a ubicar en esta gráfica de control todas las medias de los tiempos tomados en cada puesto de trabajo, la toma de muestras se hace aproximadamente en un tiempo de 30 minutos, después de este tiempo se relacionan las muestras y se empieza el proceso estadístico que permite saber si el proceso está en control o fuera de los límites, al final del proceso de ensamble del carro se utiliza una cámara de visión artificial tipo Cognex, donde se controla la calidad, con base a parámetros ya establecidos que clasifica los productos que cumplen los parámetros de calidad y los que no cumplen.

La finalidad de la práctica es fortalecer el proceso enseñanza-aprendizaje a través de un espacio diferente al salón de clase y utilizando otras técnicas de enseñanza como son las prácticas de laboratorio que facilita la comprensión de los temas tratados en una clase teórica que se orientan en asignaturas como el Control Total de la Calidad.

**Palabras clave:** control de calidad; gráficas de control; práctica de laboratorio

### **Abstract**

*Statistical process control provides tools such as control charts that allow monitoring the variability of processes. Based on the above, a practice is developed that sought to simulate the assembly process of a product (car). The environment where the practice was carried out is a flexible manufacturing laboratory located in the facilities of the Industrial Engineering program of the Technological University of Pereira.*

*The experimental activity has five work stations that are distributed along the conveyor belt, in each work station there is a student with the parts to assemble; given the order to start assembling the product, assembly times are taken in each position and recorded in a historical.*

*Then, through the historical ones, a graph  $\bar{R}$  is made (it determines whether the production is consistent with a pre-established average value) where an upper and a lower control limit are located on this control graph; all the means of the times taken in each job, starts to be located the sampling is done approximately in a time of 30 minutes, after this time the samples are related and the statistical process is started that allows to know if the process is in control or outside of the limits. At the end of the cart assembly process, an artificial vision camera type Cognex is used, where quality is controlled, based on already established parameters that classify the products that meet the quality parameters and those that do not comply.*

*The purpose of the practice is to strengthen the teaching-learning process through a different space to the classroom and using other teaching techniques such as laboratory practices that facilitates the understanding of the topics covered in a theoretical class that are oriented in subjects such as Total Quality Control.*

**Keywords:** quality control; control charts; laboratory practice

## **1. Introducción**

La generación de prácticas de laboratorio es fundamental para potenciar el aprendizaje de los estudiantes, estas les permiten participar, reflexionar y poner en crisis el pensamiento de los alumnos, generando más comprensión y motivación sobre algún tema en específico; en este caso, sobre el control estadístico de procesos. Actualmente la calidad de un producto manufacturado, juega uno de los papeles más importantes en todo el proceso y de acuerdo con (Maseda, 1999) define que "La sociedad americana para el control de calidad, define la calidad como el conjunto de características de un producto, proceso o servicio que le confieren su aptitud para satisfacer las necesidades del usuario o cliente". Es así como (Changliang Zou, et al., 2012) indican "el uso del control estadístico de procesos (SPC) en la supervisión y el diagnóstico de los perfiles de calidad del proceso y del producto sigue siendo un problema importante en diversas

industrias manufactureras". Por su parte (Escalante, 2006) considera que "la calidad no solo es cumplir especificaciones, sino en la reducción de la variación".

Dentro del contenido programático de la asignatura Control total de calidad ofrecido por el programa de ingeniería industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira, se evidencia que una de las competencias específicas está relacionada con las gráficas de control: "Aplicar las diferentes técnicas estadísticas en el control de la calidad de un producto o servicio mediante el análisis del proceso utilizando para el efecto gráficos de control por variables o por atributos" (UTP, 2012), lo que permitió construir una práctica relacionada con el tema, usando un laboratorio de manufactura flexible.

## 2. La importancia de las gráficas de control

Para mejorar la calidad de un producto, se utilizan métodos estadísticos entre ellos los gráficos de control, que también se conocen con el nombre de cartas de control, según (Montgomery, 2004) el primer autor en proponer las cartas de control fue Walter S. Shewhart, las cuales se emplean para la vigilancia en línea de un proceso (Peñabaena, et al., 2013), el uso diario de las cartas de control permitirá identificar las causas que producen variabilidad, de tal manera se podrán reducir y mejorar la dispersión en dicho proceso. Esta variabilidad según (Montoya, 2008) puede ser debida a causas aleatorias, especiales o asignables, dichas cartas de control logran diferenciar las causas asignables y especiales, pero con las aleatorias poco o nada se puede hacer.

Estas gráficas de control lograrán detectar todas las variaciones que son registradas en las variables de calidad de un producto, teniendo en cuenta que no deben rebasar unos límites que consiste en una línea central, dos líneas más una por debajo (límite de control inferior) y otra por encima (límite de control superior) con valores que representan el estado del proceso ya sea controlado o fuera de control (Kume, 2002). Existen varios tipos de cartas de control (Mosquera, et al., 2006); entre ellas por variables (cuantitativas), donde están las cartas  $\bar{X}$ , R, S y por atributos (cualitativas) donde se aprecian las cartas P, C Y U.

En la práctica propuesta se utilizan las cartas de control  $\bar{X}$ -R ya que son las que más se adecuan a las características de estudio como lo enuncia (Peñabaena, et al., 2012) en su artículo donde afirma que "Las cartas de control  $\bar{X}$ -R son una de las herramientas de control estadístico de procesos más utilizadas para el mejoramiento de la calidad y la productividad en las compañías"; también en (Barrera, 2015) realizan un seguimiento a la producción a través de las cartas de control  $\bar{X}$ -R, en la fabricación de los diferentes productos.

## 3. Diseño de la Práctica

El laboratorio de Manufactura Flexible de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira es un espacio académico dotado de los medios necesarios para realizar prácticas que inducen a la investigación, este laboratorio cuenta con herramientas tales como:

una banda transportadora y una cámara de visión artificial tipo cognex 7010. Haciendo uso del laboratorio se desarrolló una práctica que buscó simular un proceso de producción para el ensamble de un carro y el control de calidad utilizando los gráficos de control X barra.

## Pasos de la práctica

### Paso 1

Para la realización de esta práctica el estudiante debe tener en cuenta cómo se elabora una carta de control; por lo anterior a cada estudiante se le entrega una guía con los pasos (Cadenas, 2014):

#### I. Colectar Datos

Las variables seleccionadas deben ser medibles y expresadas en números como por ejemplo dureza, fragilidad, dimensiones peso, etc. Se toman muestras, es decir, subgrupos de 5 piezas seguidas y se anotan los resultados.

#### II. Calcular el promedio $\bar{x}_i$ y $R_i$ para cada subgrupo

Se utilizan las siguientes ecuaciones:

$\bar{x}_i = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$ ; donde  $\bar{x}_i$ : promedio de subgrupo,  $X_i$ : Valor de la variable medida,  $n$ : tamaño de la muestra.

$R_i = \text{Valor máx} - \text{Valor mín}$

#### III. Calcular el promedio de rangos $\bar{R}$ y el promedio de promedios $\bar{\bar{x}}$

$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum \bar{x}_i}{k}$ ,  $\bar{R} = \frac{\sum R_i}{k}$ ,  $k$ : número de subgrupos

#### IV. Calcular los límites de control

Límites de control para  $\bar{x}$ : Límites de control para R

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \quad UCL_R = D_4 \bar{R}$$

$$\text{Línea Central} = \bar{\bar{x}} \quad \text{Línea Central} = \bar{R}$$

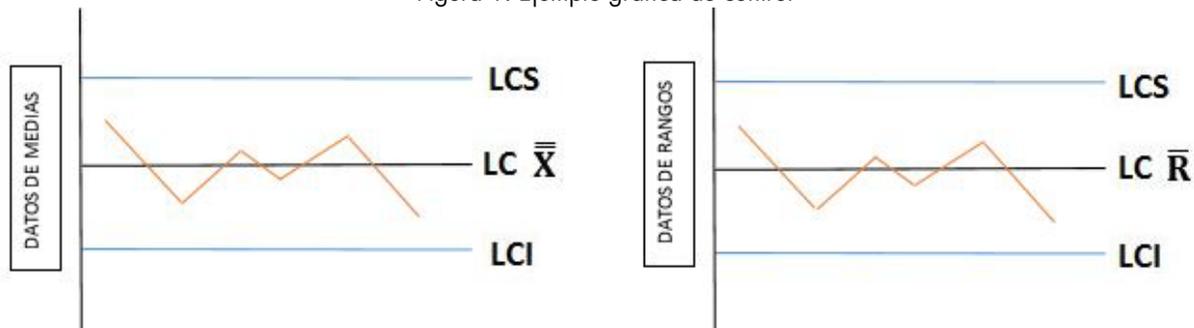
$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \quad LCL_R = D_3 \bar{R}$$

Para hacer los cálculos respectivos con los valores  $A_2$ ,  $D_3$  y  $D_4$ , deben ser consultados en la tabla de factores para gráficos de control (Hernández, 2008). Observar tabla 1.

#### V. Trazar la gráfica de control

Una carta de control  $\bar{x}$ -R nos presenta dos gráficos en una hoja, una que hace referencia las medias y la otra a los rangos R. En el eje de las "x" se representa el número de subgrupos y en el eje de las "y" los valores de las medias.

Figura 1. Ejemplo gráfica de control



LC= Línea Central  
 LCS= Línea de Control Superior  
 LCI= Línea de Control inferior

Tabla 1. Constantes para gráficos de control

Constantes para Gráficos de Control																
n	A	A2	A3	c4	1/c4	B3	B4	B5	B6	d2	d3	1/d2	D1	D2	D3	D4
2	2.121	1.880	2.659	0.798	1.253	0.000	3.267	0.000	2.606	1.128	0.853	0.886	0.000	3.686	0.000	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.886	1.128	0.000	2.568	0.000	2.276	1.693	0.888	0.591	0.000	4.358	0.000	2.575
4	1.500	0.729	1.628	0.921	1.085	0.000	2.266	0.000	2.088	2.059	0.880	0.486	0.000	4.698	0.000	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.940	1.064	0.000	2.089	0.000	1.964	2.326	0.864	0.430	0.000	4.918	0.000	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.952	1.051	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.848	0.395	0.000	5.079	0.000	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.959	1.042	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.833	0.370	0.205	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.965	1.036	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.820	0.351	0.388	5.307	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.969	1.032	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.808	0.337	0.547	5.394	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.973	1.028	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.797	0.325	0.686	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.975	1.025	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.787	0.315	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.978	1.023	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.778	0.307	0.923	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.979	1.021	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.770	0.300	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.981	1.019	0.406	1.594	0.398	1.563	3.407	0.763	0.294	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.982	1.018	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.756	0.288	1.203	5.740	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.983	1.017	0.448	1.552	0.440	1.527	3.532	0.750	0.283	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.985	1.016	0.466	1.534	0.459	1.510	3.588	0.744	0.279	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.985	1.015	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.739	0.275	1.424	5.856	0.391	1.609
19	0.688	0.187	0.698	0.986	1.014	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.733	0.271	1.489	5.889	0.404	1.596
20	0.671	0.180	0.680	0.987	1.013	0.510	1.490	0.503	1.470	3.735	0.729	0.268	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.988	1.013	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.724	0.265	1.606	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.988	1.012	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.720	0.262	1.660	5.979	0.435	1.565
23	0.626	0.162	0.633	0.989	1.011	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.716	0.259	1.711	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.989	1.011	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.712	0.257	1.759	6.032	0.452	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.990	1.010	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.708	0.254	1.805	6.056	0.459	1.541

Fuente: Tomado de (Hernández, 2008-Montgomery, 2004).

**Paso 2**

El producto a ensamblar (carro) consta de varias partes de fichas de lego fischertechnik: cuatro ruedas, dos ejes para las ruedas, techo, silla y 5 fichas adicionales que simulan el cuerpo del carro. En la figura 2 se puede observar el diseño del carro y los materiales.

La práctica se realiza con un grupo de 5 estudiantes, los cuales se capacitaron para el ensamble del carro, después cada estudiante simula ser un operario en una estación de trabajo diferente, dando lugar a 5 estaciones de trabajo. Seguidamente a cada operario (estudiante) se les hace llegar a través de la banda transportadora un palet con las partes del carro y una vez que estén listos cada uno de los operarios con su palet de partes, se da inicio al proceso de ensamble y simultáneamente a la toma de tiempos de este proceso; cada operario realiza la práctica de ensamble 25 veces. En cada estación de trabajo se encuentra otro estudiante que toma los tiempos de ensamble y los escribe en una hoja de Excel, que se diseñó para facilitar el proceso, la estructura de la hoja se puede observar en la tabla 2.

Figura 2. Material para el ensamble

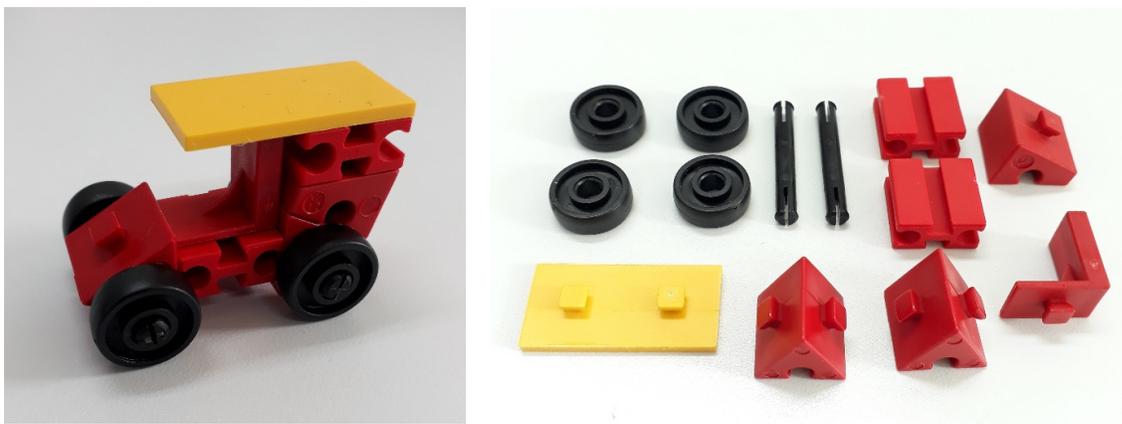


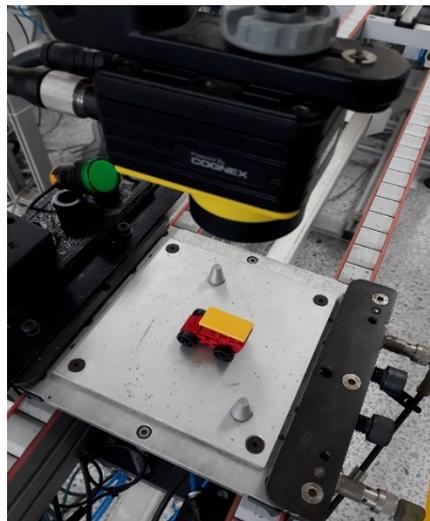
Tabla 2. Diseño para toma de tiempos

SUB-GRUPOS	OBSERVACIONES					MEDIAS				RANGOS			
	1	2	3	4	5	Prom $\bar{X}$	LC $\bar{X}$	LCS	LCI	R	LC R	LCS	LCI
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													

### Paso 3

Sumado a lo anterior, se hace un último control de calidad con la ayuda de una cámara de visión artificial tipo cognex 7010, la cual por medio de un parámetro previamente establecido de la imagen de la vista superior del carro, compara cada carro ensamblado para verificar si cumple con los parámetros de la cámara y se da por terminado el proceso productivo, observar figura 3. Para finalizar se reúnen todo el grupo de estudiantes con el profesor guía de la práctica y se socializan los resultados, concluyendo que para el mejoramiento continuo de un proceso es importante conocer herramientas estadísticas que permitan evaluar, controlar y mejorar la calidad de los productos elaborados.

Figura 3. Producto final



### 4. Conclusiones y Resultados

La implementación y adaptación de las cartas de control en el ensamble de un producto, permite establecer los límites de control para el análisis de los registros de tiempo de proceso; los resultados pueden dar lugar a acciones que permitan garantizar que dicho proceso de ensamble se mantenga bajo control e impacte en la reducción del tiempo de proceso.

Los resultados obtenidos indican que el desarrollo de las prácticas con el uso de las diferentes herramientas de un laboratorio, en este caso el de Manufactura flexible, logra inquietar y despertar el interés del estudiante, además de permitirle asimilar conceptos como: gráficos de control estadístico -R, medir variaciones de calidad, entender fácilmente los datos e interpretar sus resultados para tomar decisiones asertivas.

Esta práctica diseñada para el uso del laboratorio de manufactura flexible, favorece el proceso de enseñanza-aprendizaje y actúa como un recurso didáctico que el profesor puede utilizar para fomentar competencias como “aplicar las diferentes técnicas estadísticas en el control de la calidad”, además estimula el aprendizaje de los alumnos ya que logra acercarlos a la realidad

de los procesos que surgen al interior de una organización. Es así, que al finalizar la práctica el estudiante comprende la forma de construir y utilizar las gráficas de control y apropiar conceptos aplicados al control de calidad de un producto.

Es importante en la formación del ingeniero industrial tener en cuenta herramientas de control de calidad para la elaboración de un producto dado que contribuyen a que un estudiante en su desarrollo profesional a nivel industrial implemente este tipo de prácticas de laboratorio. En este proceso de aprendizaje, las gráficas de control x barra cumplen un papel primordial en los procesos de fabricación de un producto.

### 5. Referencias

- Barrera, J. (2015). Implementación de una carta de control para corridas cortas en la industria de autopartes. *Ingeniería*, Vol. 21, No. 1, pp. 98.
- Cadenas, M. G. (2014). Unidad 3 herramientas para CEC. Consultado el 16 de junio de 2018 en <https://ingenieriaindustrialupvmtareasytrabajos.files.wordpress.com/2012/08/cartas-de-control-por-variables.pdf>
- Changliang Zou, Fugee Tsung & Zhaojun Wang (2012) Monitoring Profiles Based on Nonparametric Regression Methods, *Technometrics*, 50:4, 512-526, DOI: 10.1198/004017008000000433
- Escalante, E. J. (2006). Análisis y mejoramiento de la calidad. Editorial Limusa, México, D.F., pp. 18.
- Hernández, M. (2008). Optimización y Estadística (SOE SC). Consultado el 21 de junio de 2018 en <https://optyestadistica.wordpress.com/2008/08/27/tabla-de-constantess-para-graficos-de-control/>
- Kume, H. (2002). Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad. Editorial Norma., Bogotá, D.C., pp.91-134.
- Maseda, A. P. (1999). Gestión de calidad. Editorial Alfaomega, México, D.F., pp. 9-11.
- Montgomery, D. C. (2004). Control estadístico de la calidad. Tercera edición, Editorial Limusa, México, D.F., pp. 156-160, 761.
- Montoya, N. E. and Correa, J. C. (2008). Cartas de Control Estadístico de Procesos en el Monitoreo de la Mortalidad Perinatal. *Revista de Salud Pública*, Vol. 11, No. 1, pp. 93-94.
- Mosquera, A., Narvaez, J. J. and Cabrera, J. F. (2006). Uso de cartas de control para el análisis de calidad de manufactura de sacos de polipropileno. *Facultad de ciencias agropecuarias*, Vol. 4, No. 1, pp. 68-69.
- Peñabaena, R., Oviedo, O., Cuentas, S. and García E. (2012). Methodology for the implementation of an economic and/or statistical design for x-bar charts with variable parameters (VP). *Dyna*, Vol.81, No. 184, pp. 2-3.
- Peñabaena, R., Oviedo, O., Vásquez, J. C. and Fernández, L. M. (2013). Diseño estadístico de cartas de control para datos autocorrelacionados. *Ingeniería y Desarrollo*, Vol. 31, No. 2, pp. 1-10.

- Universidad Tecnológica de Pereira. (2012). Contenido programático. Consultado el 16 de junio de 2018 en <https://industrial.utp.edu.co/ingenieria-industrial/contenido-programatico.html>

### Sobre los autores

- **Andrés Eduardo Muñoz Moreno**, Estudiante Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira. [anedom@utp.edu.co](mailto:anedom@utp.edu.co)
- **María Elena Bernal Loiza**: Ing. de Sistemas, Magister en Investigación de Operaciones y Estadística, Magister en Administración del Desarrollo Humano y Organizacional, Estudiante de Doctorado en Didáctica. Profesora Titular Facultad de Ing. Industrial. Universidad Tecnológica de Pereira. [mbernal@utp.edu.co](mailto:mbernal@utp.edu.co)

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2018 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)