

Metodología para el mejoramiento continuo de procesos de manufactura, basado en lean sigma y aplicada al proceso de elaboración de arneses automotrices

Miriam Idalí De la Cruz Rodríguez¹, Francisco Javier Estrada Orantes¹, Miguel Díaz Mendoza¹, José Fernando Estrada Saldaña¹, Rodrigo Ríos Rodríguez¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Resumen

Combinar la metodologías Lean y Sigma es un método que resalta a la popularidad con el trabajo propuesto por George (2002), donde el autor propone una metodología basada en la estrategia del DMAIC y la unión de herramientas de Lean, sin embargo el enfoque de George está dirigido al desarrollo de grandes proyectos dentro de las empresas y no a la resolución de problemas, las investigaciones analizadas proponen ideas similares a lo que el autor menciona, por lo que se considera interesante aplicar la sinergia pero orientado a la resolución de un problema con Lean Sigma y no estrictamente en el enfoque que el autor menciona. La aplicación de la metodología de Lean Sigma se dirige a una empresa automotriz donde el problema que se presenta es la cantidad de defectos internos por dimensiones, generados durante la fabricación del producto, se determina una manera de aplicar la metodología para encontrar la solución, la metodología se basa en cuatro pasos principales, se plantean dos hipótesis para la investigación y como variable se define la proporción de los defectos, y finalmente se prueba que la cantidad de defectos disminuye al aplicar la metodología basada en Lean Sigma.

Palabras clave: Lean Sigma, Mejoramiento continuo.

Introducción

La empresa japonesa Furakawa Wiring Systems México, dedicada a la fabricación de arneses de los diferentes modelos de autos Honda, entre ellos *el CR-V*. Dentro de la familia de arneses de la plataforma de los

CR-V se encuentra el área del 32751, la cual es un área donde se presentan constantemente quejas de cliente por defectos relacionados con las dimensiones del arnés, véase la Figura 1

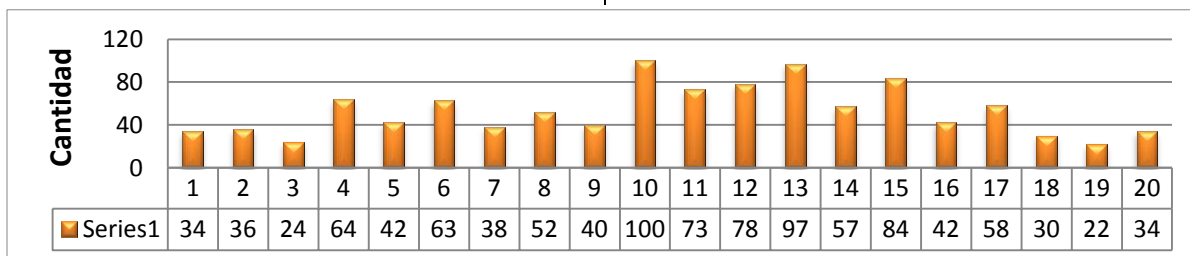


Figura 1. Muestra un estimado de la cantidad de defectos por dimensiones, analizados solo en el primer turno.

El estado en que se encuentra el área y la cantidad de defectos generada muestran la poca calidad de la producción por lo que se considera necesario la aplicación del mejoramiento continuo con la metodología Lean Sigma para encontrar una solución que lleve a la disminución de los defectos de dimensiones del arnés. La variable de respuesta que se toma es la proporción de defectos que se presentan en el área por las dimensiones del arnés, para la validación de la aplicación se toman dos hipótesis.

a) Hipótesis 1

- H_0 : La Proporción de defectos es igual en el estado inicial que después de la aplicación de la metodología. $\mu_1 = \mu_2$
- H_1 : La Proporción de defectos antes de la aplicación de la metodología es mayor que después de aplicar la metodología. $\mu_1 > \mu_2$

b) Hipótesis 2

- H_0 : la proporción de defectos al aplicar la metodología es igual al 1% de la cantidad fabricada. $\mu = .01$
- H_1 : la proporción de defectos al aplicar la metodología es menor al 1% de la cantidad fabricada. $\mu < .01$

El proceso de fabricación consiste en cuatro fases simples la primera fase es el ensamble del arnés donde se toman los circuitos y se ensamblan a los conectores, posteriormente este ensamble llega a una estación donde se traza todo el arnés y se construye encintándolo, después este arnés pasa a una estación de dimensiones para verificar que cumple con los requerimientos y finalmente se pasa a la estación de prueba eléctrica. La Figura 2 muestra el arnés ya construido en la estación.



Figura 2. Tablero de construcción del arnés 32751

Marco Teórico

Se revisa literatura relacionada con las metodologías de Lean Manufacturing y Six Sigma, así como trabajos realizados donde se combinan ambas metodologías.

Hilerio, Jaimes y Simón (2009) muestran en una investigación donde los autores realizan distintas evaluaciones con el propósito de obtener inicialmente los desperdicios del

área, realizan análisis de diagrama del proceso, como propuesta de mejora se enfocan en modificaciones en el *layout*, así como también en el control del material, y mejora del diagrama de proceso. Los resultados de la mejora demuestran que el ritmo (*takt time*) disminuye de 1.73 a .79 min, al igual que la capacidad para elaborar 1000 gorras disminuye de 3.5 a 1.65 días, el retrabajo disminuye un 50% y el inventario 13.04 %.

El sistema creado por Harry (2000) ha sido el método a seguir para implementación de Six Sigma dentro de las empresas, con el objetivo de reducir las variaciones que se presentan en esta. Las fases de *definir, medir, analizar, mejorar y controlar* conforman todo la estrategia usada del autor para el mejoramiento continuo. Harry explica en su libro la experiencia de algunas empresas que se ven mejoradas al aplicar la metodología Six Sigma una de ellas es Polaroid que al implementar la metodología logra mejorar la calidad de sus productos convirtiéndose de una empresa de 3.5 sigmas a 5 sigmas.

George (2002) es uno de los primeros autores que propone una estrategia para combinar Lean y Six Sigma. La metodología del autor propone que el primer paso es generar un compromiso por la gerencia para apoyar al proyecto, posteriormente prepara un equipo de trabajo, posteriormente seleccionar el proyecto correcto y los departamentos involucrados, una vez determinado esto se distribuyen las responsabilidades, continuo a esto se desarrollan el plan de mejora con el uso del DMAIC. El autor menciona un

caso de la empresa del sector automotriz *Tier-one auto supplier*, el objetivo de la empresa está ligado a reducir el tiempo de ejecución del proceso y los defectos. Después de dos años desde la implantación la empresa logra reducir el tiempo de manufactura de 14 días a 2 días, reducción de los gastos generales y el costo de calidad de un 22%, margen de beneficio bruto de 5.4% a 13.8%, y el retorno de inversión de 10% a 33%.

Furterer (2009) muestra en su libro una manera de aplicar la metodología Lean Six Sigma dirigida a empresas, la autora basa sus sistema en la estrategia del DMAIC, algunas variables importantes, es que ella da relevancia a conocer la voz del proceso, así como también sugiere que dentro del plan de mejora se incluya la estrategia PDCA. Muestra varios casos de estudio dentro de los cuales se encuentra uno donde se presenta el problema de material perdido dentro de una escuela, se desarrolla todo un proceso para investigar la causa dentro de las cuales está de que no se identifican los materiales ni tienen método de rastreo, al aplicar la metodología se logra identificar todo el material con un código de barras, lo que permite que el control y tiempo en que se realizan los inventarios disminuye al 50%, y se elimina el porcentaje del el material perdido.

Plascencia (2003) muestra un método de 14 pasos combinando Lean y Six Sigma para la reducción de material desperdiciado y defectos por millón, el autor propone una evaluación de cada paso donde al final se obtiene un porcentaje del nivel Lean Sigma obtenido, la metodología es aplicada dentro

de una empresa automotriz, el material desperdiciado logra disminuir de 2462.73 pesos a 1301.49 pesos y los defectos por

millón de 11695 a 8604 en siete meses de su aplicación.

Metodología

El enfoque de la aplicación de la metodología Lean Sigma está dirigido en proporcionar una guía para resolver un problema en este caso a eliminar defectos dentro de una empresa de producción de arneses, se espera que la aplicación de la

metodología sea de mejora para reducir los defectos internos que más impactan el área. La Figura 3 muestra el diagrama de flujo que conforma los pasos principales que sigue la metodología.

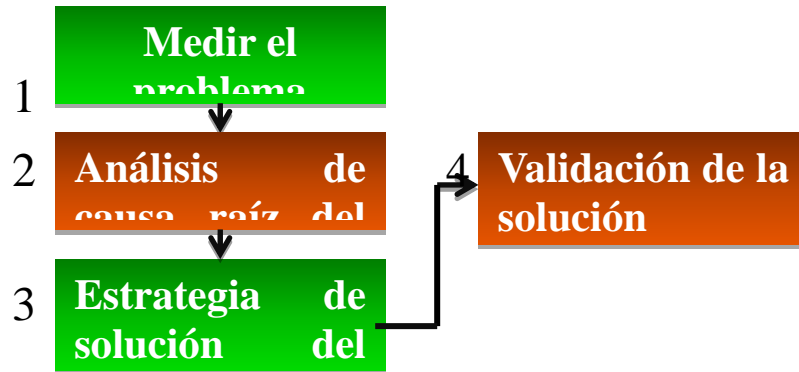


Figura 3. Diagrama de flujo

Medir el problema

Cuando se conoce cuál es el problema, inmediatamente se pasa a medir el problema, lo cual consiste en medir la situación actual. En este caso se presentan quejas por defectos en las dimensiones de los arneses, por lo tanto es preciso analizar que tantos y que tipos de defectos de dimensiones se presentan frecuentemente en el área. Para realizar la medición se utiliza una tabla de registro de datos y una vez obtenidos los datos se pasan a graficar en un Pareto con la finalidad de observar cuales

son los defectos que tienen mayor impacto para el área, midiendo la frecuencia en que se presentan puede hacer el Pareto con el análisis de una semana a más días, véase la Figura 4.

Sobre los datos de los defectos y la cantidad total de piezas fabricadas de veinte a más días durante el turno se obtiene un análisis de la capacidad, con el propósito de ver que tan bueno es el proceso de fabricar partes buenas y que porcentaje de defectos se obtiene actualmente. La capacidad previa a la mejora es mostrada en la Figura 5.

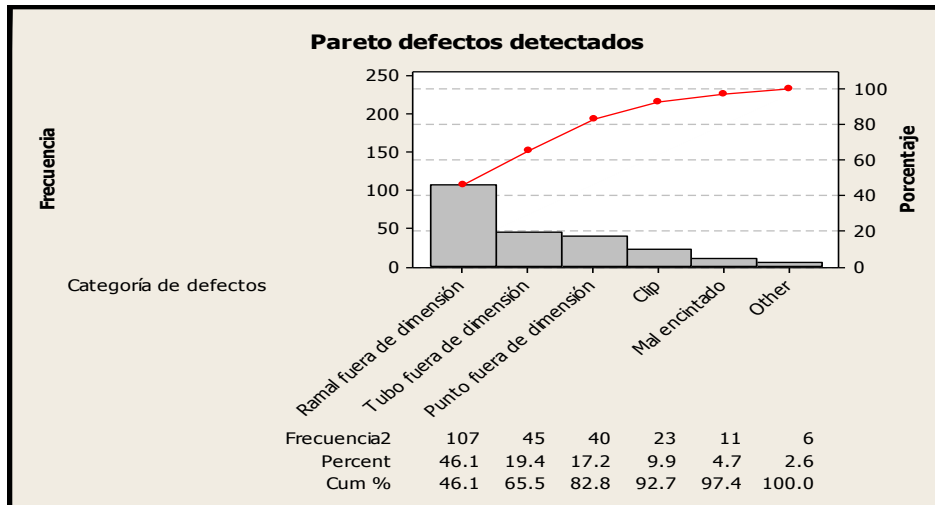


Figura 4. Pareto de frecuencias por categoría de defectos

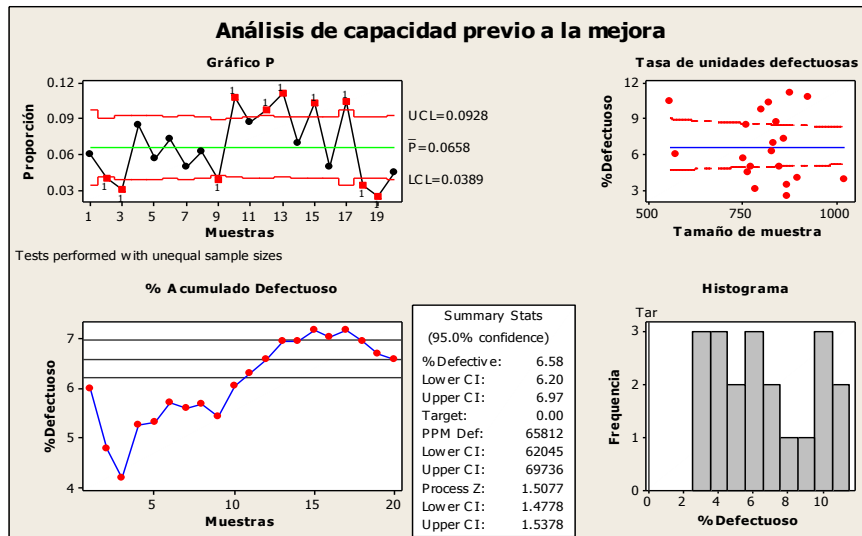


Figura 5. Análisis de capacidad previo a la mejora

Análisis de causa raíz del problema

Una vez que se obtiene el análisis y observaciones con el formato de evaluación Lean Sigma y mediante lluvia de ideas se llena un Ishikawa para determinar posibles causas, posterior al Ishikawa se utiliza la

técnica del grupo nominal con la participación de calidad, producción e ingeniería y se realiza un Pareto para determinar cuáles causas posiblemente se pueda atacar. La figura 3.4 muestra el Pareto de las causas que pueden afectar a obtener más defectos por las dimensiones.

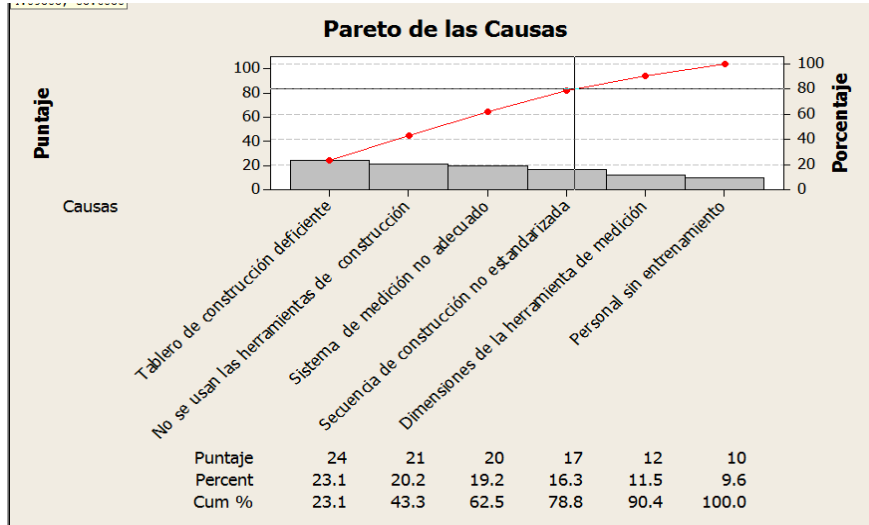


Figura 6. Causas principales

A las principales causas se les aplica la herramienta de los 5 ¿Por qué?, no necesariamente se tiene que preguntar 5 veces, pero si las suficientes, para llegar a la

raíz del problema, se realiza una tabla por cada categoría que se analiza, véanse la Tablas 1, 2, 3 y 4.

Tabla 1. Análisis de causa raíz de la medición

Medición	
Pregunta	Respuesta
¿Por qué el sistema no es adecuado?	Porque no se mide correctamente
¿Por qué se dice que no se mide correctamente?	Porque no se sabe distinguir los defectos
¿Por qué no sabe distinguir los defectos?	Porque no usa bien la herramienta
¿Por qué no usa bien la herramienta?	Porque no comprende la herramienta
¿Por qué no comprende la herramienta?	Porque no se realiza una evaluación de medición para fortalecer el sistema

Tabla 2. Análisis de causa raíz del método

Método	
Pregunta	Respuesta
¿Por qué no se usan las herramientas?	Porque el operador considera que es más rápido
¿Por qué el operador considera que es más rápido?	Porque la herramienta no favorece a la construcción
¿Por qué la herramienta no favorece a la construcción?	Porque algunas herramientas son difíciles de usar
¿Por qué las herramientas son difíciles de usar?	Porque no se cuenta con las herramientas adecuadas para la construcción

Tabla 3. Resultados obtenidos del análisis de causa raíz de la maquinaria

Método	
Pregunta	Respuesta
¿Por qué la secuencia no está estandarizada?	Porque no se usan las herramientas de la misma manera
¿Por qué no se usa las herramientas de la misma manera?	Porque cada tablero es diferente
¿Por qué cada tablero es diferente?	Porque en unos falta herramientas y en otros no está en buenas condiciones y otros ambas cosas
¿Por qué los tableros no cuentan con todas las herramientas o están en malas condiciones?	Porque no se verifica el estado del herramental y no se usa aquella herramienta que haga más difícil el trabajo

Tabla 4. Análisis de causa raíz de la maquinaria o tablero de construcción

Maquinaria	
Pregunta	Respuesta
¿Por qué se dice que la maquinaria es deficiente?	Porque no favorece la construcción
¿Por qué no favorece la construcción?	Porque el operador no la utiliza
¿Por qué el operador no usa el herramental?	Hay horquillas que no son de ayuda para su construcción y las dimensiones no son correctas
¿Por qué se dice que las herramientas ni las dimensiones son adecuadas?	El tablero no cumple con las dimensiones requeridas y las horquillas no favorecen la construcción
¿Por qué el tablero cuenta con dimensiones erróneas y horquillas que no favorecen la construcción?	Porque no se ha verificado las dimensiones ni si lo que estipula el diseño es lo más efectivo

Estrategia de solución del problema

Tomando en cuenta que las causas provienen principalmente del sistema de medición y del diseño del tablero de construcción se crea el plan de mejora, se analiza el sistema de medición para verificar su estado actual con un MSA kappa. Bajo esta condición se toma el número de muestras y el número de operadores $(\#muestras) \times (\#operadores) > 15$ (Estadística Aplicada Módulo 7) donde las muestras son 10 y los operadores 2, cada operador realiza dos mediciones de cada pieza. Se realiza el estudio kappa y los resultados se muestran en la tabla 5

Los resultados muestran que el sistema es deficiente por lo que se analiza el sistema verificando las dimensiones y asegurándose que el inspector sepa distinguir entre una pieza que está defectuosa y una que cumple con los requerimientos del cliente, es muy importante que el inspector sepa distinguir hasta cuando una dimensión está en tolerancia y cuando ya es detectada como defecto, además, también se verifica que el inspector sepa distinguir cuando hay prioridades en dimensiones. Posterior a la verificación del sistema se vuelve a realizar el análisis MSA y se obtienen los resultados muestran en la tabla 6 que el sistema de medición mejora con un valor de kappa de 0.85.

Tabla 5. Análisis de ambos inspectores contra el estándar.

Análisis de todos los inspectores contra el estándar				
Acuerdo de evaluación				
# Inspeccionadas	#Concuerdan	Porcentaje	95 % CI	
10	3	30.00	(6.67, 65.25)	
Kappa				
Respuesta	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
Bien	0.496970	0.158114	3.14311	0.0008
clip	*	*	*	*
punto	*	*	*	*
ramalc	0.490850	0.158114	3.10441	0.0010
ramalclip	*	*	*	*
tubo	0.591369	0.158114	3.74015	0.0001
tuboyclip	*	*	*	*
Overall	0.480606	0.102009	4.71142	0.0000

Tabla 6. Análisis posterior ambos inspectores contra el estándar

Ambos inspectores contra el estándar				
#Inspeccionadas	#Concuerdan	Porcentaje	95 % CI	
10	7	70.00	(34.75, 93.33)	
Kappa				
Respuesta	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
amarre	0.47368	0.158114	2.9958	0.0014
bien	0.90000	0.158114	5.6921	0.0000
clip	0.62418	0.158114	3.9477	0.0000
ramalc	1.00000	0.158114	6.3246	0.0000
rcota	0.90196	0.158114	5.7045	0.0000
rcoto	1.00000	0.158114	6.3246	0.0000
Overall	0.85612	0.082526	10.3739	0.0000

El siguiente paso se enfoca en mejorar la herramienta de construcción se toma una sola estación como prototipo, la cual se redimensiona por completo y se cambian aquellas herramientas que no favorecen a la construcción, al igual aquellas herramientas que están dañadas se cambian por nuevas y las faltantes se agregan. Las Figuras 7 y 8 muestran las nuevas horquillas. La Figura 9 muestra el escantillón reparado y la Figura 10 muestra el escantillón dañado.



Figura 7. Horquilla de 15x25

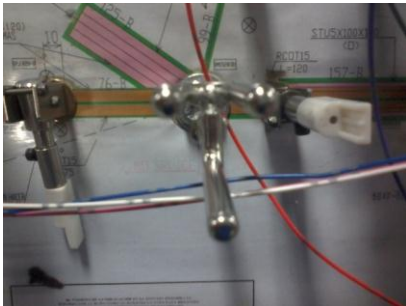


Figura 8. Horquilla de 10x15



Figura 9. Escantillón reparado



Figura 10. Escantillón dañado

Posteriormente se revisa que el operador use el herramental adecuadamente la figura muestra cómo se traza el punto ahora con el uso de las horquillas y escantillones que antes no se usaban debido a que no facilitaban la construcción ni favorecían por la dimensión incorrecta, véanse las Figuras 11 y 12.

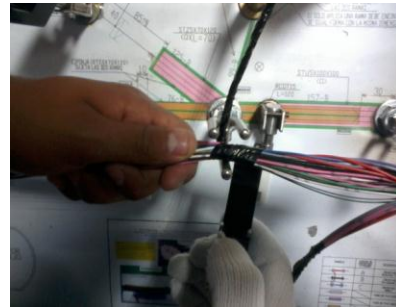


Figura 11. Operador trazando nudo

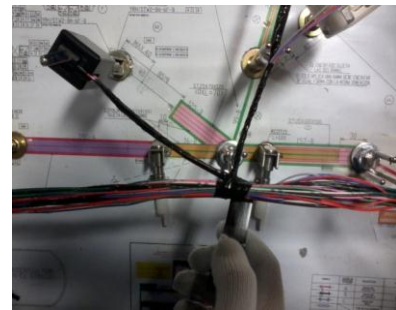


Figura 12. Operador uniendo el ramal

Validación de la solución

Se obtiene datos para validar los cambios realizados al diseño del tablero y después de

trabajar con el método se calcula un número de muestra.

$$p^{\wedge} = \frac{11}{133} = .0827 \quad q^{\wedge} = 1 - .0827 = .9173$$

$$n = \frac{z^2 \frac{1}{2} p^{\wedge} q^{\wedge}}{e^2} = \frac{1.96^2 (.0827)(.9173)}{.03^2} = 323.8 \sim 324$$

La tabla 7 muestra los resultados de la prueba de 2 proporciones al analizar los defectos de la estación 3.

Tabla 7. Resultados de la validación de la estación 3

Prueba para dos proporciones			
Muestra	X	N	Muestra p
1	46	527	0.087287
2	5	514	0.009728

Diferencia = p (1) - p (2)
 Estimación de la diferencia: 0.0775589
 95% límite inferior de la diferencia: 0.0561181
 Prueba de la diferencia = 0 (vs > 0): Z = 5.95 P-Value = 0.000
 Prueba exacta de Fisher: P-Value = 0.000

Verificación de la hipótesis

Se realizan las hipótesis con dos proporciones y una proporción, las que se

muestran en la Tablas 8 y 9. Así mismo se hace la comparación de los gráficos de control P en la Figura 12.

Tabla 8. Prueba de hipótesis final para 2 proporciones

Prueba para dos proporciones			
Muestra	X	N	muestra p
1	1068	16228	0.065812
2	10	2497	0.004005

Diferencia = p (1) - p (2)
 Estimación de la diferencia: 0.0618074
 95% límite inferior de la diferencia: 0.0579900
 Prueba de la diferencia = 0 (vs > 0): Z = 26.63 Valor p = 0.000
 Prueba exacta de Fisher: valor P = 0.000

Tabla 9. Una proporción

Prueba para una proporciones

Test of $p = 0.01$ vs $p < 0.01$

Muestra	X	N	muestra p	95% limite superior
1	10	2497	0.004005	0.006784

valor P 0.001

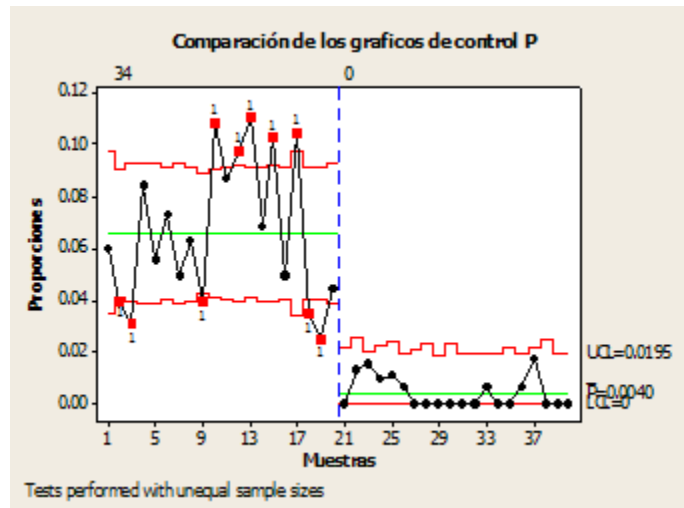


Figura 12. Comparación de gráficos de control P

Conclusiones

La cantidad de defectos iniciales indican que la proporción de defectos es de 6.5% al compararla a la obtenida posteriormente a la aplicación que es de 0.4% se obtiene que la proporción de antes es mayor en un 6.1% y por la tanto se rechaza la primera hipótesis nula, posteriormente la cantidad de defectos

de 0.4 se compara con el 1% para comprobar que es menor y por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, se concluye que la proporción de defectos antes de la aplicación de la metodología es mayor a después de la metodología y también es menor al 1%.

Referencias

Estrada, F. J. (2012). Estadística Aplicada Módulo 7. (4.1), 11.

Furterer, S. L. (2009). Lean Six Sigma in Service Applications and Case Studies. Boca Raton: Taylor & Francis Group.

George, M. L. (2002). En Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality With Lean Speed. New York: McGraw-Hill.

George, M. L., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J. (2005). The Lean Six Sigma Pocket ToolBook. New York: McGraw-Hill.

Harry, M. (2000). Six Sigma : The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations. New York: Currency.

Hilerio, E., Jaimes, E., & Simón, M. I. (2009). Reduccion de desperdicio en la fabricación de gorras por medio de Lean Manufacturing. 78-189.

Plascencia, H. (2003). Comparación de las metodologías Lean Sigma, Seis Sigma y Lean Manufacturing para el mejoramiento continuo de procesos. 44-57.