

Implementación del índice de Taguchi en contraste con los índices convencionales para los estudios de capacidad de procesos

Implementation of the Taguchi index in contrast to conventional indices for process capacity studies

RODRIGUEZ-BUCIO, Norma*†, PEREZ-CABRERA, Pascual Felipe, HERNANDEZ-PASTRANA, Veronica Petra y KIDO-MIRANDA, Juan Carlos

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Iguala, Carretera Nacional Iguala-Taxco esq. Periférico Norte Colonia Adolfo López Mateos, Infonavit, C.P. 40030, Iguala, Gro

ID 1^{er} Autor: Norma, Rodriguez-Bucio / ORC ID: 0000-0001-5287-0946, Researcher ID Thomson: X-3895-2018, CVU CONACYT ID: 550895

ID 1^{er} Coautor: Pascual Felipe, Perez-Cabrera / ORC ID: 0000-0002-5432-6730, Researcher ID Thomson: X-3905-2018, CVU CONACYT ID: 953461

ID 2^{do} Coautor: Veronica Petra, Hernandez-Pastrana / ORC ID: 0000-0002-1768-0220, Researcher ID Thomson: X-3865-2018

ID 3^{er} Coautor: Juan Carlos, Kido-Miranda / ORC ID: 0000-003-3375-627X, Researcher ID Thomson: X-3895-2018, CVU CONACYT ID: 370488

Recibido 23 de Marzo, 2018; Aceptado 12 de Mayo, 2018

Resumen

En el presente trabajo se describe la implementación del Índice de Capacidad de Taguchi (Cpm) en el Centro de Llenado "Ideal del Agua Pura" como alternativa a los índices de capacidad de procesos de primera generación del Estudio de Capacidad de Procesos, basados en La Filosofía Clásica de la Calidad como Cp, Cpk y Cr, donde aseveran la Calidad solo es cumplir especificaciones. En contraparte se demuestra que los índices de capacidad de procesos de segunda generación (de Taguchi) basados en la "Función de Pérdida" y la "Función de Promedio" miden mejor el centrado del Proceso y la Variabilidad, puesto que conciben la Calidad no solo en cumplir especificaciones, sino también, en reducir la varianza con respecto a un valor objetivo,. Todo esto representando un enfoque diferente a la Cultura de la Mejora de la Calidad en donde el Dr. Genichi Taguchi revolucionó procesos con su metodología denominada "Ingeniería de la Calidad".

Índice Cpm, Centrado de proceso, Variabilidad

Abstract

In this paper we describe the implementation of the Taguchi Capacity Index (Cpm) in the "Ideal of Pure Water" Filling Center as an alternative to the capacity indices of the first generation processes of the Process Capacity Study, based on the Classical Philosophy of Quality as Cp, Cpk and Cr, where they assert Quality is only to meet specifications. On the other hand, it is shown that second-generation process capacity indexes (from Taguchi) based on the "Loss Function" and the "Average Function" better measure the focus of the Process and the Variability, since they conceive the Quality not only in meeting specifications, but also in reducing the variance with respect to a target value. All this representing a different approach to the Culture of Quality Improvement where Dr. Genichi Taguchi revolutionized processes with his methodology called "Quality Engineering".

Cpm Index, Process Centering, Variability

Citación: RODRIGUEZ-BUCIO, Norma, PEREZ-CABRERA, Pascual Felipe, HERNANDEZ-PASTRANA, Veronica Petra y KIDO-MIRANDA, Juan Carlos. Implementación del índice de Taguchi en contraste con los índices convencionales para los estudios de capacidad de procesos. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2018, 2-6: 6-15

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: norma.rodriguez@itiguala.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Genichi Taguchi (Japón, 1924 - 2012), considerado uno de los gurúes de la calidad, realizó importantes contribuciones al Control Estadístico de la Calidad. Supo aplicar a las industrias métodos estadísticos poco difundidos en su momento, logrando la reducción de los costos y la mejora de la calidad en el diseño de productos y los procesos de fabricación.

La filosofía de calidad de Taguchi se basa en la minimización de la variación alrededor del valor objetivo. Los elementos clave de la filosofía de Taguchi son la Función Pérdida de Calidad, la incorporación de los Arreglos Ortogonales al Diseño de Experimentos, el índice de Señal Ruido y el índice de Capacidad de Procesos C_{pm}. (WU & WU, 1997) (1),

La calidad de productos y servicios es en la actualidad un factor de interés en la mayor parte de las organizaciones. Para lograr la calidad deseada en un producto o servicio no basta con realizar inspecciones o pruebas finales; por el contrario, se debe actuar apropiadamente desde el diseño y a lo largo de los procesos de producción o de prestación, de manera tal que los resultados resulten de acuerdo con lo esperado.

Pero en la realidad todo proceso es afectado por factores que no pueden ser controlados, generando así un producto o servicio de calidad variable. Es por ello que controlar la calidad en un producto o servicio es, en realidad, controlar la variabilidad del proceso que lo origina.

Las organizaciones deben valerse de técnicas y herramientas que les permitan identificar, medir, controlar y reducir la variación en los procesos, para concretar así las acciones de mejora de la calidad apropiadas. (PANDE, NEUMAN, & CAVANAGH, 2004) (2). La filosofía de calidad de Taguchi se basa en tres conceptos fundamentales. En primer lugar, considera que el diseño en la fase inicial del producto es fundamental para lograr la calidad en el resultado final. Por otra parte, sostiene que la calidad de los productos mejora cuando se minimiza la variabilidad en torno al valor nominal u objetivo.

Por último entiende a los costos de la no calidad como resultado del accionar de toda la organización en su conjunto y, en particular, como función de la variabilidad en los procesos.

La visión de Taguchi se manifiesta en sus contribuciones más reconocidas a la mejora de la calidad, y en este trabajo se centra en el Índice de Capacidad de Procesos C_{pm}, que constituye una herramienta valiosa del Control Estadístico de la Calidad para la identificación, medición, control y reducción de la variación de los procesos. (WU & WU, 1997) (3)

¿Por qué hacer un Estudio de Capacidad?

El estudio de Capacidad de los Procesos es de gran importancia porque actualmente uno de los mayores retos de los fabricantes es el de competir ofreciendo productos y servicios de alta calidad a bajo costo. El Estudio de Capacidad de Proceso nos va a ser útil para:

1. Medir que tan bueno es nuestro proceso para producir productos que estén dentro de las especificaciones.
2. Ayudar a los diseñadores o realizadores del producto a seleccionar o modificar un proceso.
3. Reduce la variabilidad en un proceso de Manufactura.
4. Ayuda a establecer un intervalo entre muestreo y controles de proceso.
5. Especificar los requisitos para el funcionamiento de nuevos equipo.
6. Elegir entre diferentes proveedores.
7. Planear la sucesión de procesos de producción cuando existe un efecto interactivo de los procesos sobre las tolerancias.

De esta manera podemos darnos cuenta que el análisis de capacidad de proceso es una técnica que tiene aplicaciones en muchas partes del proceso, que incluyen el diseño del producto y del proceso, la búsqueda de proveedores, la planeación de la producción o fabricación y la manufactura en sí misma.

Sin embargo, de los puntos anteriores se tomará como el más importante al primero de ellos para fines de esta investigación.

El enfoque será dirigido a analizar cómo medir que tan bueno es un proceso en términos de que este sea capaz o incapaz de producir dentro de los márgenes establecidos. Cuando un proceso es catalogado como incapaz los procedimientos de muestreo de aceptación deben mantenerse como parte del proceso. (MONTGOMERY, 1991) (4).

Definición de un Proceso Capaz o Incapaz

Un proceso que es incapaz es aquel que se sale de los límites de especificaciones. La incapacidad de un proceso puede presentarse cuando la variación en este es muy grande y no cabe dentro de los límites (fig. 1).

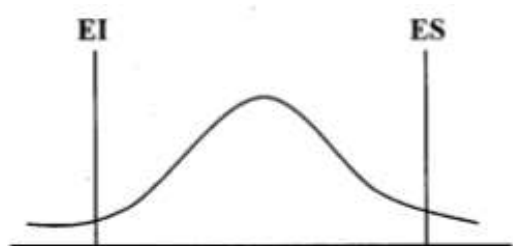


Figura 1 Proceso Incapaz

Por otro lado podemos tener procesos que en un inicio este dentro de los límites especificados y que con el paso del tiempo su variación crece y se sale de estos (fig. 2).

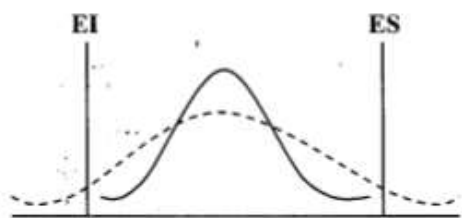


Figura 2 Proceso en el que cambió la variación

O podemos tener otro proceso en el cual se cumpla con los límites aunque su variación no aumente (fig. 3).

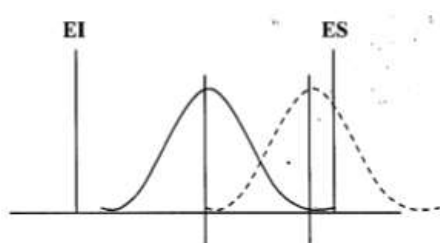


Figura 3 Proceso con promedio móvil

Es importante que para la realización de un Estudio de Capacidad se cuente con las condiciones normales de operación, lo cual se refiere a que un proceso de manufactura esté operando bajo instrucciones aprobadas, es decir, que use las materias primas o materiales que han sido especificados en la planeación, operadores con experiencia y entrenados, máquinas bien preparadas, equipo de medición verificado y calibrado, además de contar con un medio ambiente apropiado. (MONTGOMERY, 1991) (5).

Propósito Principal del Estudio de Capacidad

El propósito principal del Estudio de la Capacidad de un Proceso es evaluar si dicho proceso cumple con las especificaciones establecidas en la etapa de diseño para todas aquellas características de calidad críticas del proceso.

Índice de Capacidad de Procesos C_{pm}

La calidad final de un producto comienza desde el momento mismo en que es diseñado y prosigue con la implementación y control del proceso que lo lleva a cabo.

Cuando la variabilidad de los procesos sólo está afectada por causas aleatorias, es decir, el proceso está bajo control estadístico, tiene sentido medir su capacidad para producir unidades dentro de las especificaciones, (MONTGOMERY, 1991) (6).

Los índices más convencionales para cuantificar la capacidad de un proceso son los índices C_p y C_{pk} , que calculan la capacidad como el cociente entre las especificaciones de diseño y la variación natural del proceso. La aplicación de estos índices presupone que los procesos a los cuales se aplican tienen característica de calidad con distribución de probabilidad normal.

Para una característica de calidad con especificaciones bilaterales, la capacidad de un proceso centrado en el valor nominal y que opera bajo control estadístico, se mide por medio del índice C_p como:

$$C_p = \frac{LES - LEI}{6\sigma} \quad (1)$$

Donde LES es el Límite de Especificación Superior, LEI es Límite de Especificación Inferior y σ es la desviación estándar del proceso. Si el proceso se desplaza de su centro se recurre al índice C_{pk} que tiene en cuenta, además de la variabilidad, la media del proceso:

$$C_{pk} = \min\left\{\frac{LES - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LEI}{3\sigma}\right\} \quad (2)$$

A mayor valor de C_p ó C_{pk} , menos porcentaje de la producción estará fuera de especificación. En la práctica, se suele considerar que el valor mínimo aceptable para los índices de capacidad es 1.33, lo que equivale a 6.3 artículos fuera de especificación cada 100000.

Los índices C_p y C_{pk} son considerados índices de capacidad de primera generación, pues se basan en la filosofía clásica del control estadístico de procesos.

De acuerdo con ella, todas las medidas resultantes en el intervalo de tolerancia son consideradas “buenas”, sin tener en cuenta su proximidad a los límites de especificación.

Taguchi, a partir de la función pérdida y de la pérdida promedio, desarrolla una alternativa a los índices de capacidad de procesos de primera generación: el índice C_{pm} , que mide mejor que el C_{pk} el centrado del proceso y la variabilidad. Se define como:

$$C_{pm} = \frac{LES - LEI}{6r} \quad (3)$$

dónde $r = \sqrt{\sigma^2 + (\mu - N)^2}$

El índice C_{pm} considera las desviaciones del valor objetivo a manera de pérdida cuadrática. Su definición tiene en cuenta la variación total del proceso alrededor del valor nominal a través de, considerando tanto la variabilidad σ^2 del proceso como su centrado $(\mu - N)^2$. Es decir, pena tanto la dispersión del proceso como su alejamiento del valor nominal. Para el índice C_{pm} también acepta como valor razonable 1.33 (BOYLES, 1991) (7).

El índice C_{pm} se considera de segunda generación dado que es una ampliación del índice C_p y representa el enfoque de Taguchi acerca de la mejora de la calidad.

Es decir, las medidas no solo deben de ser “buenas” por estar dentro del intervalo de especificación sino que también se debe saber qué tan buenas son por su proximidad al valor nominal. C_p y C_{pk} refieren al porcentaje de elementos fuera de especificación, mientras que C_{pm} refiere a la calidad global de los mismos.

La elección del índice a emplear es, en definitiva, una decisión estratégica, ya que ella exhibe el concepto de calidad para la empresa.

Taguchi se enfoca en la reducción de la variación en relación con un valor objetivo y no en la reducción de la variabilidad sólo para cumplir con las especificaciones, por lo cual el índice C_{pm} resulta apropiado para medir la calidad de un proceso. (MONTGOMERY, DISEÑO Y ANALISIS DE EXPERIMENTOS, 1991) (8).

Estudio previo de simulación contrastando como mejor índice a C_{pm} versus C_{pk}

Un estudio de simulación realizado por (HERNANDEZ, DE LA PAZ, GARCIA, & al, 2015) (9), se hizo la corrida de simulación para demostrar que C_{pm} tiene mejor performance para detectar procesos no capaces que el índice C_{pk} .

Para Procesos Normales

Se simularon procesos normales con diferentes corrimientos de su media μ respecto al valor nominal y distintos desvíos estándar σ . Se fijó el valor nominal a 0 y los límites de especificación +3, -3. Se seleccionaron aleatoriamente 25 muestras de tamaño 4 para cada población normal generada a partir de diversos valores de parámetros μ y σ y luego se calcularon los índices C_{pk} y C_{pm} estimados.

Cada proceso se simuló 10000 veces y se contabilizó el número de veces en que cada índice fue menor que 1.33, considerando que estos casos corresponden a procesos no capaces. Los resultados se presentan a continuación (fig. 4):

Media	Desvío	C_{pm} real	C_{pk} Real	Número de $C_{pm} < 1.33$	Número de $C_{pk} < 1.33$
0	0.5	2	2	0	0
	0.25	4	4	0	0
	0.125	8	8	0	0
1	0.5	0.89	1.33	9909	0
	0.25	0.97	2.66	8740	0
	0.125	0.99	5.33	6706	0
1.5	0.5	0.63	1	10000	23
	0.25	0.65	2	10000	0
	0.125	0.66	4	10000	0
2	0.5	0.485	0.667	10000	4792
	0.25	0.496	1.333	10000	0
	0.125	0.499	2.667	10000	0
2.5	0.5	0.392	0.33	10000	9962
	0.25	0.398	0.66	10000	0
	0.125	0.399	2.667	10000	0

Figura 4 Comparación de la Performance de los Índices C_{pm} y C_{pk} en procesos normales

Por ejemplo para un proceso con media $\mu = 1$ y $\sigma = 0.5$, los índices reales son $C_{pm} = 0.89$ (que señala un proceso no capaz) y $C_{pk} = 1.33$ (que indica un proceso capaz). De las 10000 simulaciones para esos valores de los parámetros, en 9909 C_{pm} resultó menor que 1.33, es decir, en 9909 casos detectó la falta de capacidad del proceso, mientras que C_{pk} siempre indicó un proceso capaz, es decir, C_{pk} nunca pudo detectar un corrimiento de la media en dos desvíos estándar respecto del valor nominal.

Como es de esperar, cuando el proceso está centrado ambos índices tienen igual performance. Cuanto mayor es el desplazamiento de la media respecto al valor nominal, mayor diferencia se observa en la performance de los índices para detectar procesos no capaces. C_{pm} pena no solamente la variabilidad sino también el desplazamiento de la media del proceso, y aunque disminuya el desvío estándar, el valor del índice no mejora considerablemente. Esto no ocurre con C_{pk} , que aumenta su valor al disminuir el desvío.

En los casos en que los desvíos son pequeños, se puede observar que los índices C_{pk} estimados a partir de las simulaciones determinan que los procesos son capaces, sin tener en cuenta el desplazamiento de la media del proceso. Incluso, cuando la media se desplaza más de dos unidades respecto al valor nominal y estando a sólo una unidad del límite superior de especificación, se puede concluir del valor de C_{pk} que se estaría en presencia de un proceso capaz (para $\sigma = 0.25$) o de capacidad Seis Sigma (para $\sigma = 0.125$).

En cambio, para la totalidad de las simulaciones, en estos casos C_{pm} exhibe correctamente la realidad de los procesos.

Pasos a seguir para un Estudio de Capacidad

Para realizar un estudio de capacidad se deben realizar los siguientes seis pasos:

1. Seleccionar las características críticas de la calidad (deben de ser factores que puedan ser medidos numéricamente). Los criterios para decidir qué características de calidad son críticas tienen que ver con funcionalidad, calidad y costos.
2. Recolección de Datos. Se debe de tener un sistema para recolectar datos de manera que se tengan al menos 100 datos para el factor o característica que se quiera controlar.
3. Establecer control sobre el proceso. Es requisito mantener un proceso dentro de control para determinar su capacidad.
4. Analizar los datos del proceso. Se determina la capacidad calculando los índices de capacidad del proceso, calculando la media y la desviación estándar con los datos obtenidos del proceso.
5. Analizar las fuentes de variación. Identificar qué factores están afectando la variación natural del proceso.
6. Establecer sistemas de monitoreo del proceso. Una vez que los estudios de capacidad nos indican si es capaz o no el proceso se establece un sistema de control estadístico y verificar que el proceso se mantenga dentro de las especificaciones de calidad a través del tiempo. (J. M. JURAN, 1995).

Implementación del C_{pm} en el Centro de Llenado “Ideal del Agua Ligera”

Para poder contrastar los conceptos y metodologías antiguas de la calidad con los índices C_{pk} , C_p y C_r dentro del marco de un Estudio de Capacidad de Proceso con el índice de capacidad de proceso de Taguchi, el C_{pm} .

Se implementó este estudio en una purificadora de agua llamada “Ideal de Agua Ligera” con dirección en Avenida Sur No.1, Colonia Insurgentes, Iguala de la Independencia, Guerrero, Mexico.

RODRIGUEZ-BUCIO, Norma, PEREZ-CABRERA, Pascual Felipe, HERNANDEZ-PASTRANA, Veronica Petra y KIDO-MIRANDA, Juan Carlos. Implementación del índice de Taguchi en contraste con los índices convencionales para los estudios de capacidad de procesos. Revista de Operaciones Tecnológicas. 2018

Objetivo

- Demostrar que el Índice C_{pm} es mejor para medir la variabilidad de los procesos.

Parámetros

El parámetro de la característica de calidad a evaluar fue la altura a la que se llena un garrafón de agua estándar con altura de 50 cm (500 mm), tomando como base de altura desde el piso hasta la tapa, como se muestra en la Figura 5, con Límite de Especificación Superior a 48 cm (480 mm) y Limite de Especificación Inferior a 42 cm (420 mm), midiendo de esta manera la variabilidad del proceso de llenado, como lo muestra la Figura 5.

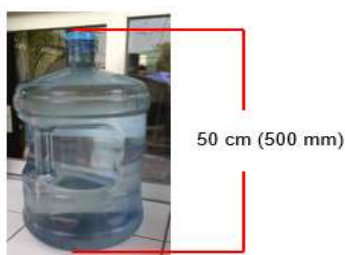


Figura 5 Característica de Calidad evaluada del garrafón (altura de llenado)

Recolección de datos

Los datos de la siguiente tabla representan los datos obtenidos en el proceso de llenado de garrafones en la purificadora “Ideal del Agua Ligera” con su respectiva media y desviación estándar. Como se aprecia el tamaño del subgrupo es de $n = 10$ y se tiene un total de 20 subgrupos. Los datos están dados en Milímetros. (La \bar{x} y σ se obtuvieron con Excel).

Sub-grupo	Mediciones										Media	Desviación Estándar
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	46	44	45	43	42	44	43	43	48	43	446.2	18.5100573
2	42	43	49	43	41	48	46	45	43	48	452.2	27.6196387
3	43	45	45	45	48	46	43	43	45	43	451.7	14.5223965
4	45	43	46	49	48	43	44	45	44	44	455.1	18.9411369
5	45	43	43	47	44	47	46	45	44	46	455.2	14.2111068
6	45	44	46	46	46	44	47	47	47	48	466	12.7975692
7	46	46	48	48	45	43	42	49	44	44	459.3	22.7207688
8	46	44	46	48	46	42	43	44	45	46	454.2	16.8047612
9	45	48	43	42	48	45	46	47	45	46	460.5	19.5291804
10	46	43	46	46	47	48	42	47	47	47	465	20.5101601
11	47	47	46	44	45	44	46	43	42	49	457.9	20.2509259
12	43	45	45	46	42	42	44	43	47	46	446.1	18.3269686
13	46	46	47	46	45	41	44	47	44	48	458.2	20.3404359
14	45	44	44	47	43	45	45	44	48	45	455.7	14.1110674
15	47	45	46	44	42	45	48	42	42	47	452.2	22.4687437
16	44	45	43	45	42	46	46	44	46	46	452	14.1656862
17	44	49	45	43	47	47	47	46	42	46	462.1	21.789141
18	44	45	49	41	44	45	44	49	48	45	458.2	25.7457656
19	45	42	46	43	46	48	45	48	47	43	458.1	22.5262809
20	43	48	45	47	43	46	48	42	43	47	457.1	23.1057953
Media de Medias											456.2	
Media de Desviación Estándar											19.4498793	

Tabla 1 Resultados obtenidos del proceso de llenado de garrafones

Cálculo de los límites de control para las Cartas $\bar{X} - S$

Usando el programa Minitab 17 se obtuvieron los siguientes resultados como lo muestra la Figura 6. Donde obtuvimos unos resultados para la Media de la muestra de $\bar{x} = 456.15$ mm, que es igual al Límite de Control Central, para el Limite de Control Superior = 475.12 mm y el Limite de Control Inferior = 437.18 mm.

Y para la Desviación Estándar de la Media de $\sigma = 19.45$ mm, que es igual al Límite de Control Central, para el Limite de Control Superior = 33.38 mm y el Limite de Control Inferior = 5.52 mm.

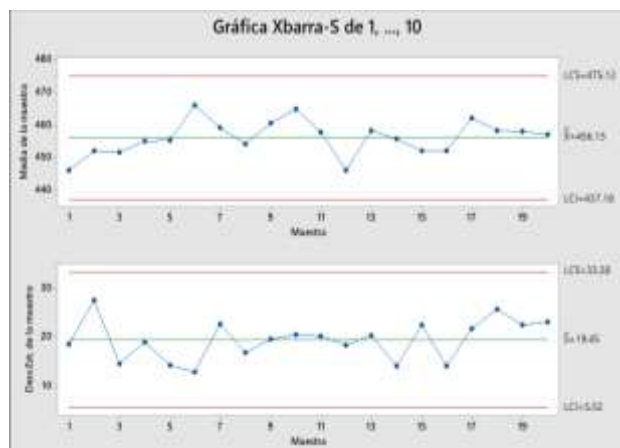


Figura 6 Límites de Control para las Cartas $\bar{X} - S$

Entonces, para continuar con nuestro estudio y aplicar los índices de capacidad, nuestro proceso debe de estar bajo control y precisamente si podemos concluir que el proceso evaluado si está bajo control estadísticamente hablando porque no presenta ningún punto fuera de las líneas de los límites de control, con corridas normales (que no presenta seis puntos consecutivos debajo o por encima de la línea central), tampoco existen tendencias (siete puntos consecutivos en forma ascendente o descendente), y no tiene ciclos ni agrupamientos (cuando el movimiento de los puntos se encuentran alrededor de la línea central).

Estudio de Capacidad

Los datos de la siguiente tabla representan Una vez establecidos todos los parámetros anteriores, junto con la recolección de datos y el análisis para comprobar que nuestro proceso a evaluar si este bajo control estadístico, se procede a realizar el Estudio de Capacidad donde implementaremos los Índices Convencionales contrastándolos con el Índice de Taguchi. Para ello contamos con un Límite de Especificación Superior (LES) = 48 cm (480 mm) y un y Limite de Especificación Inferior (LEI) = 42 cm (420 mm).

Estimación de la Desviación Estándar del Proceso

La fórmula para estimar la Desviación Estándar del Proceso está dada como lo muestra la Figura 7.

$$\sigma = s = \frac{\bar{R}}{d_2} \tag{1}$$

Figura 7 Desviación Estándar del Proceso

Pero antes de calcular la σ , se calcularon las Cartas de $\bar{X} - R$ con Minitab 17 justo como lo muestra la Figura 8. Donde obtuvimos unos resultados para la Media de la muestra de $\bar{x} = 456.15$ mm, que es igual al Límite de Control Central, para el Limite de Control Superior = 474.52 mm y el Limite de Control Inferior = 437.78 mm.

Y para la Desviación Estándar de la Media de = 59.6 mm, que es igual al Límite de Control Central, para el Limite de Control Superior =

105.9 mm y el Limite de Control Inferior = 13.3 mm.

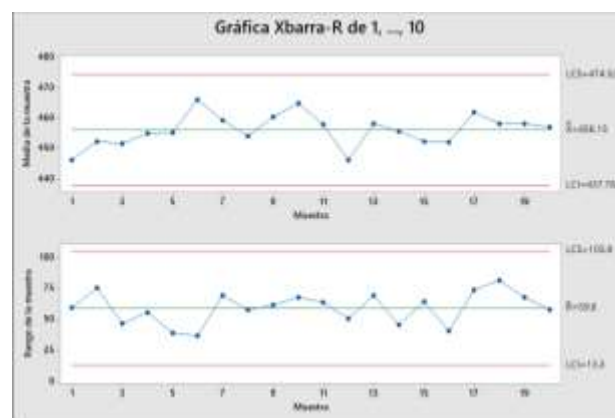


Figura 8 Límites de Control para las Cartas $\bar{X} - R$

Y sustituyendo esos valores en la formula obtenemos $\sigma = S = \frac{59.6}{3.078} = 19.3632229$ mm. Donde d2 se obtuvo a partir de la tabla que muestra la Figura 9.

Observaciones en la muestra n	Gráficas para medias			Gráficas para desviación estándar			Gráficas de rangos						
	Factores para los límites de control			Factores para los límites de control			Factores para la desviación estándar		Factores para los límites de control				
	A	A1	A2	C4	C5	C6	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
2	1.10	1.68	1.88	0.79	1.21	0	1.20	0	1.88	1.28	1.88	0.83	0
3	1.70	1.43	1.94	0.88	1.20	0	1.20	0	1.70	1.69	1.93	0.88	0
4	1.58	1.73	1.85	0.91	1.19	0	1.19	0	1.58	1.69	1.87	0.88	0
5	1.42	1.77	1.87	0.94	1.18	0	1.18	0	1.42	1.69	1.84	0	0.83
6	1.21	1.80	1.91	0.95	1.17	0.00	1.17	0.00	1.24	1.69	1.84	0	0.75
7	1.14	1.83	1.92	0.96	1.16	0.00	1.16	0.00	1.14	1.69	1.83	0.00	0.70
8	1.04	1.87	1.94	0.97	1.15	0.00	1.15	0.00	1.04	1.69	1.83	0.00	0.66
9	1.00	1.87	1.94	0.97	1.15	0.00	1.15	0.00	1.00	1.69	1.83	0.00	0.64
10	0.94	1.88	1.95	0.97	1.14	0.00	1.14	0.00	0.94	1.69	1.83	0.00	0.62
11	0.90	1.88	1.95	0.97	1.14	0.00	1.14	0.00	0.90	1.69	1.83	0.00	0.61
12	0.86	1.88	1.95	0.97	1.14	0.00	1.14	0.00	0.86	1.69	1.83	0.00	0.60

Figura 9 Tabla de Valores para las Gráficas de Rangos con n Observaciones en la muestra

Cálculo de los Índices de Capacidad

Ahora procedemos a calcular los índices de capacidad para lo cual nos basaremos en las formulas de la Figura 10.

Concepto	Capacidad de corto plazo
Proceso con doble especificación	
Índice de capacidad potencial del proceso.	$C_p = \frac{\text{Rango de especificación}}{\text{Habilidad del proceso}} = \frac{LES - LEI}{6\sigma}$
Razón de capacidad potencial.	$C_r = \frac{6\sigma}{LES - LEI}$
Índice de capacidad real de un proceso.	$C_{pk} = \min\left\{\frac{\mu - LEI}{3\sigma}, \frac{LES - \mu}{3\sigma}\right\}$
Índice de taguchi	Donde: $\tau = \sqrt{\sigma^2 + (\mu - N)^2}$

Figura 10 Fórmulas de los Índices de Capacidad

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.

Índice de Capacidad Potencial del Proceso (C_p)	=	0.51644295
Razón de Capacidad Potencial (C_r)	=	1.93632229
Índice de Capacidad Real de un Proceso (C_{pk})	=	0.41057215
Índice del Proceso de Centrado (C_{pm})	=	0.03895124

Tabla 2 Resultados obtenidos de los Índices de Capacidad de Proceso

Resultados

Los resultados obtenidos de los índices de capacidad se ven reflejados en el siguiente histograma de frecuencias (Figura 11) hecho con Minitab 17 en las que se observa que existen muchos datos fuera los límites de especificaciones.

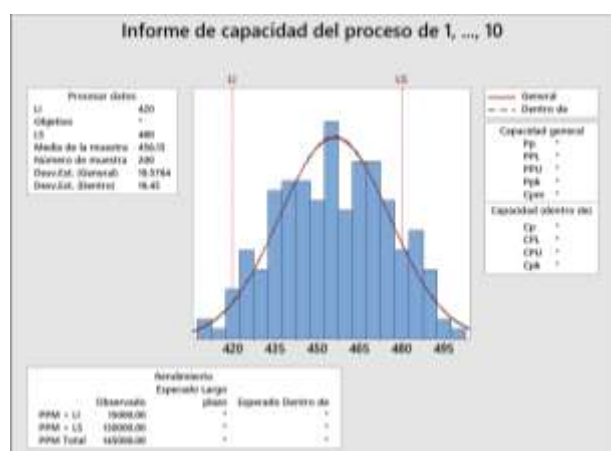


Figura 11 Histograma de Frecuencias

En la Figura anterior se observa que precisamente es un proceso de pesado, clasificación o retrabajo, lo cual indica que existen muchos datos saliéndose de los Límites de Especificación establecidos. Con un $C_p = 0.51$, un $C_r = 1.93$, un $C_{pk} = 0.41$ y un $C_{pm} = 0.03$.

Ahora bien, de acuerdo a su interpretación y su contraste de acuerdo al objetivo de este trabajo encontramos lo siguiente tomando en cuenta el 1.33 como el 100% de los datos (200):

1. El $C_p = 0.51644295$, esto nos evidencia que el proceso no cumple con las especificaciones pues se espera siempre un $C_p > 1$, siendo que el valor perfecto sería un valor mayor a 1.33 o mayor a 1.50.
2. El $C_r = 1.93632229$, nos indica que la variación del proceso abarca o cubre un 193% de la banda de especificaciones por lo que su capacidad potencial es inadecuada.
3. El $C_{pk} = 0.41057215$ que nos indica una capacidad no satisfactoria, aquí el valor perfecto sería un $C_{pk} > 1.25$ para un proceso ya existente, como lo es el llenado de garrafones.
4. El $C_{pm} = 0.03895124$ que nos indica de la misma forma que el proceso no cumple con las especificaciones satisfactoriamente, siendo el valor ideal $C_{pm} > 1.33$, lo cual indicaría que el proceso está dentro de una quinta parte central del rango de especificaciones.

Análisis de Resultados

Puesto que hemos contrastado los índices de capacidad del proceso anteriores, nos damos cuenta que efectivamente todos marcan que el proceso de sale de los Límites de Especificación, puesto que todos deberían ser mayor a 1, y en procesos ideales mayor a 1.33.

Así vemos que el Índice de Capacidad de Taguchi mide mejor esta variabilidad puesto que su índice fue el único que marcó alto grado de variabilidad; el C_p mostró que le hacía falta al proceso un 0.8135 para alcanzar el 1.33, el C_{pk} un 0.8394 para alcanzar un 1.25 y el C_{pm} un 1.29104 para alcanzar el 1.33.

Entonces bien, de todos los índices anteriores el C_{pm} fue el que concluyó que existía más variabilidad en el proceso. Ahora bien contabilizando manualmente los garrafones que se salían de las especificaciones encontramos que fueron 27 garrafones y sustituyendo en una simple regla de 3 para 1.33 encontramos lo siguiente:

$$\text{Total de Garrafones} = 200$$

$$\text{Total de Garrafones Fuera de Especificaciones} = 27$$

Si $1.33 = 200$ Garrafones Dentro de las Especificaciones, entonces $200 - 27 = 173$ Garrafones que queremos encontrar su valor con respecto a 1.33

Luego entonces aplicamos la regla de 3:

$$\begin{aligned} 1.33 &= 200 \\ X &= 173 \\ X &= 1.1504 \end{aligned}$$

Ahora bien $1.33 - 1.1504$ (Garrafones buenos) = 0.17955 que es el valor para los garrafones Malos (Fuera de las Especificaciones).

Así pues vemos que C_p midió 0.51644295, con una diferencia de **0.33689295** y C_{pm} midió 0.03895124 con una diferencia de **0.14059876**.

Ahora sustituyendo en una simple regla de 3 para 1.25 encontramos lo siguiente:

$$\text{Total de Garrafones} = 200$$

$$\text{Total de Garrafones Fuera de Especificaciones} = 27$$

Si $1.25 = 200$ Garrafones Dentro de las Especificaciones, entonces $200 - 27 = 173$ Garrafones que queremos encontrar su valor con respecto a 1.25.

Luego entonces aplicamos la regla de 3:

$$\begin{aligned} 1.25 &= 200 \\ X &= 173 \\ X &= 1.08125 \end{aligned}$$

Ahora bien $1.25 - 1.08125$ (Garrafones buenos) = 0.16875 que es el valor para los garrafones Malos (Fuera de las Especificaciones).

Así pues vemos que C_{pk} midió 0.41057215, con una diferencia de **0.24182215**.

Conclusiones

Dado que C_{pm} es un mejor indicador midiendo que tan malo es el proceso de acuerdo a los valores reales de 1.33 para C_p y C_{pm} y un valor real de 1.25 para C_{pk} Observamos las siguientes diferencia:

$$\begin{aligned} C_{pm} &= \mathbf{0.14059876} \\ C_p &= \mathbf{0.33689295} \\ C_{pk} &= \mathbf{0.24182215} \end{aligned}$$

Concluimos pues que el mejor de los tres indicadores anteriores fue C_{pm} puesto que fue el valor que más se acercó a 0, lo cual indica una menor diferencia con el valor teórico de los 27 garrafones fuera de las especificaciones que se traduce como una mejor medición.

Referencias

- (7) BOYLES, R. (1991). *THE TAGUCHI CAPABILITY INDEX*. Journal of Quality Technology. Vol 23, 17-26.
- (9) HERNANDEZ, A., DE LA PAZ, G., GARCIA, L., & al, (2015). INVESTIGACION OPERATIVA. LA METODOLOGIA DE TAGUCHI EN EL CONTROL ESTADISTICO DE LA CALIDAD (pág. 64 a 83). Facultad Regional Bahía Blanca: Centro de Estudios de Calidad Total.
- (10) J. M. JURAN, F. M. (1995). *ANALISIS Y PLANEACION DE LA CAPACIDAD*. México: Mc Graw Hill.
- (4), (5), (6) MONTGOMERY, D. (1991). *CONTROL ESTADISTICO DE LA CALIDAD*. México: Grupo Editorial Iberoamericana. ISBN 968-7270-79-9.
- (8) MONTGOMERY, D. (1991). *DISEÑO Y ANALISIS DE EXPERIMENTOS*. México: Grupo Editorial Iberoamericana. ISBN: 968-7270-79-9.

(2) PANDE, P., NEUMAN, R., & CAVANAGH, R. (2004). *LAS CLAVES PRACTICAS DE SEIS SIGMA. UNA GUIA DIRIGIDA A LOS EQUIPOS DE MEJORA DE*

PROCESO. Madrid: McGraw Hill, ISBN: 84-481-4037-0.

(1), (3), WU, Y., & WU, A. (1997). *DISEÑO ROBUSTO UTILIZANDO LOS METODOS DE TAGUCHI*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos. ISBN: 84-7978-305-2.