



Análisis estadístico del proceso de revestimientos en Eurocerámica S.A.S utilizando Minitab

Juan Esteban Correa Mesa

Informe de práctica empresarial presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniero Químico

Asesoras

María Alejandra Granados Mesa, Analista Administrativa de Esmaltes

Lina María González Rodríguez, P.h.D Ciencias Químicas

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Química

Medellín

2024

Cita

(Correa Mesa, 2024)

Referencia

Correa Mesa, J.E., (2024). *Análisis estadístico del proceso de revestimientos en Eurocerámica S.A.S utilizando Minitab [Presencial]*. Universidad de Antioquia, Medellín.



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedicado a quienes creyeron en mí y estuvieron a mi lado en mi carrera profesional aportando desde diferentes perspectivas a la culminación de este proceso

Tabla de contenido

Resumen	6
Abstract	7
Introducción	8
1 Objetivos	9
1.1 Objetivo general	9
1.2 Objetivos específicos.....	9
2 Marco teórico	10
3 Metodología	15
4 Resultados	17
5 Discusión	19
6 Conclusiones	20
Referencias	21

Siglas, acrónimos y abreviaturas

Cp	Capacidad de proceso estimado
Cpk	Índice de capacidad de proceso estimado
Pp	Capacidad de proceso actual
Ppk	Índice de capacidad de proceso actual
ppm	Partes por millón
CIP	Control Integral de Procesos
POE	Procedimiento Operacional Estandarizado
Lamosa	Ladrillera Monterrey S.A.

Resumen

El proceso de revestimientos es clave en la producción de cerámica en la empresa EUROCERÁMICA S.A.S ya que se deben controlar todas las variables que intervienen en cada área del mismo, al tener tantas variables necesita de un método que permita analizarlas de manera efectiva dando resultados que lleven a la implementación de planes de acción que mejoren el proceso. Durante la elaboración del proyecto se identificaron diversos aspectos a mejorar en el seguimiento de las variables centrándose en el registro virtual de los datos y posterior análisis estadístico calculando parámetros que indicaron el comportamiento del proceso. Para abordar esta situación se estableció el objetivo principal de definir herramientas de análisis estadístico en el proceso de revestimientos que permitan entender en todo momento el proceso. Se descubrió que el proceso no cuenta con un seguimiento eficiente y continuo lo que ocasionó pérdida de datos relevantes para el análisis además de que el análisis hecho permitirá elaborar planes de mejora, planes que no se habrían pensado si ni siquiera se hacía el análisis con las herramientas establecidas. Se concluyó que era necesario implementar este tipo de análisis en la Planta ya que el solo hecho de registrar los datos no es suficiente para entender el proceso, con las herramientas usadas se permitió analizar desde varias perspectivas hasta identificar la causa raíz del problema.

Palabras clave: Revestimientos, análisis estadístico, capacidad, proceso, control

Abstract

The coating process is key in the production of ceramics in the company EUROCERAMICA S.A.S, since all variables must be controlled which intervene in each area of it, having so many variables, it needs a method that allows them to be analyzed effectively, giving results that lead to the implementation of action plans that improve the process. During the development of the project, various aspects to improve in the monitoring of the variables were identified, focusing on the virtual registration of the data and subsequent statistical analysis by calculating parameters that indicated the behavior of the process. To address this situation, the main objective was established to define statistical analysis tools in the coating process that allow the process to be understood at all times. It was discovered that the process does not have efficient and continuous monitoring, which caused the loss of relevant data for the analysis, in addition to the fact that the analysis carried out will allow the development of improvement plans, plans that would not have been thought of if the analysis was not even carried out with the established tools. It was concluded that it was necessary to implement this type of analysis in the Plant since the mere fact of recording the data is not enough to understand the process, with the tools used it was possible to analyze from various perspectives until the root cause of the problem was identified.

Keywords: Coatings, analysis statistical, capacity, process, control

Introducción

Eurocerámica S.A.S es empresa colombiana que actualmente pertenece al grupo Lamosa (Ladrillera de Monterrey S.A.). Esta empresa se dedica a la fabricación de baldosas para pisos y paredes, posee minas en el país de las cuales extrae la mayor cantidad de materias primas de acuerdo al Código de Minas (Decreto – Ley 2655 de 1988) para la preparación pasta (soporte o pasta), también produce sus propios esmaltes para la decoración, diseño y protección de sus productos, los cuales se pueden encontrar en variedad de formatos.

La producción del producto final involucra diversas áreas en la Planta (alternas y continuas), en donde se lleva un control de procesos en cada área para garantizar que el producto generado en cada una tenga la calidad que se requiere en la siguiente. Es así que se miden múltiples variables que deben ser analizadas para identificar anomalías a resolver y mejorar los procesos.

Debido a la magnitud de las variables, y que actualmente se está estableciendo un proceso que implica más variables a controlar, no se cuenta con la herramienta que permita hacer todos los análisis requeridos y evitar la pérdida de información útil para plantear alternativas de solución ante las anomalías. Se requiere entonces recurrir a un software que pueda procesar y analizar esta cantidad de información, tal que se puedan analizar en todas las áreas. Esto último porque la manera en que se sigue el control de procesos es manual y al carecer de bases de datos sólidas genera atraso significativo en el análisis, lo cual en ocasiones no puede realizarse ante la demanda de producción necesaria a cumplir.

Se buscó como propósito la evaluación de la implementación del uso de Minitab para realizar todos los análisis necesarios en la identificación de anomalías. Lo que permitió identificar las causas de la desviación de las variables de sus valores estándar, realizando análisis más rápidamente y más precisos con las herramientas que ofreció el software. Además, se optimizó el tiempo y se tuvo una mejor comprensión de la información obtenida, lo cual fue clave en la producción del producto final que cumpliera con las normas de calidad exigidas.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

Definir herramientas de análisis estadístico en el proceso de revestimientos que permitan el control de las variables de proceso

1.2 Objetivos específicos

Determinar las diferentes funciones del software Minitab en el análisis estadístico

Documentar el uso de Minitab de tal manera que se puedan hacer los análisis respectivos

Definir las variables esenciales en el control del proceso de revestimientos en Eurocerámica S.A.S

2 Marco teórico

El proceso de revestimientos es un proceso complejo en el que se miden múltiples variables en cada una de las áreas necesarias para la producción de la baldosa, es necesario que estas variables cumplan con cierto rango de valores definidos con el fin de otorgar un producto con calidad al cliente, por lo cual se hace indispensable analizar el proceso para identificar anomalías que generan que las variables tomen valores fuera de su especificación, una vez analizado el proceso se puede plantear alternativas de mejoramiento que permitan mantener el proceso en control y por ende se asegure un producto totalmente aceptable en el cliente.

Una herramienta útil en este análisis es la Estadística, la cual otorga unos parámetros que hablan sobre el comportamiento actual y futuro del proceso, esto permite predecir cómo será el mismo al transcurrir el tiempo, de esta manera se puede anticipar a los posibles problemas que puedan surgir y solucionarlos, además de que este análisis identifica las variables específicas que ocasionan un descontrol en el proceso así como también una relación entre éstas y otras permitiendo predecir el comportamiento de una variable en función de otra.

Definición de algunos conceptos estadísticos (Montgomery, 2014):

Media μ : Es la suma de los datos dividida entre el número total de datos.

Mediana: Es el número medio en el conjunto (después que los números han sido ordenados del menor al mayor) o, si hay un número par de datos, la mediana es el promedio de los dos números medios.

Moda: Es el número que aparece con mayor frecuencia.

Desviación estándar σ : Es la medida que indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media. Mientras mayor sea la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos. El símbolo σ (sigma) se utiliza para representar la desviación estándar de una población, mientras que s se utiliza para representar la desviación estándar de una muestra. La desviación estándar se puede utilizar para establecer un valor de referencia para estimar la variación general de un proceso.

Rango: Es un valor numérico que indica la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de una serie de datos o muestra estadística.

Es una medida que nos ayuda a entender cuán dispersos o variados son los datos dentro de un conjunto.

Población: Cantidad total de elementos o eventos similares que son de interés para alguna pregunta o investigación (Feller, 1950).

Muestra: Pequeña parte de una población usada para un estudio.

Gráfica de series de tiempos: Permite visualizar tendencias de valores numéricos o recuentos a lo largo del tiempo. Debido a que la información de fecha y hora son datos categóricos continuos los puntos se representan a lo largo del eje X, y están conectados por una línea continua.

Distribución normal: Reconocida por el francés Abraham de Moivre, posteriormente Carl Friedrich Gauss elaboró desarrollos más profundos y formuló la ecuación de la curva, de ahí que también se la conozca más comúnmente como la “campana de Gauss”. La distribución normal ayuda a comprender cómo se distribuyen elementos aleatorios en torno a un valor medio.

Histograma: Es un gráfico que usa barras para simbolizar como se distribuye un conjunto de datos, lo que lo hace útil para entender y describir un proceso de tal manera que permite encontrar áreas de oportunidad en ellos y muestra la distribución de las frecuencias de la información que se recolecta. Indica cuántos datos tienen un mismo valor.

Gráfica de caja: Aunque el histograma ofrece buena información del proceso, éste no es útil cuando se tienen demasiadas variables ya que no se observan bien las curvas, cuando esto pasa se recurre a la gráfica de caja que permite una mejor comprensión de todas las variables. Esta gráfica es una vista superior de la distribución y ofrece un mejor entendimiento sobre el rendimiento del proceso.

Gráfica I-MR: Esta es una gráfica de control que permite observar la diferencia entre los datos que se tienen respecto a al estándar que deben cumplir, también permite una comparación con los límites establecidos por Minitab como límites de control, por lo cual esto permite concluir si los datos tomados cumplieron las especificaciones en el tiempo como se tomaron, y otra que muestra la diferencia que existe entre cada par de datos consecutivos. Las siglas I, MR significan “Individuales” y “Rangos Móviles” ya que se obtienen 2 gráficas, una que muestra los datos de manera individual.

El Control Integral de Proceso CIP tiene como objetivo proveer a los clientes un estándar de excelencia obteniendo una calidad de clase mundial a costos competitivos en cada proceso (Armand, 2009), logrando que la mejora continua sea una disciplina que no termina, este tipo de control se resume en los siguientes pasos:

Definición del mapa de variables: En este punto se definen las variables de interés a controlar, ya que son las variables que más afectan a la calidad del producto, estas variables de interés son relacionadas con otro tipo de variables las cuales al controlar garantizan un control en las variables de interés. Es así como se tienen 3 tipos de variables a las que se les da importancia de acuerdo a su impacto en la calidad del producto:

Variable crítica: Fallar en su control significa que el producto no pueda ser utilizado.

Variable mayor: Fallar en su control ocasiona malestar en el cliente ya que el producto no puede usarse como está especificado, es decir, el producto no cumple completamente con la calidad necesaria.

Variable menor: Fallar en su control puede ser imperceptible para el cliente mientras que un experto sí nota el efecto que tiene en el producto.

El mapa se compone de 4 grandes estructuras:

Área de control: Localización física con fronteras definidas.

Operación de control: Es donde se realiza una actividad a controlar.

Punto de control: Variable de interés a controlar.

Punto de verificación: Variable o condiciones a controlar para mantener el punto de control en el estándar.

Desarrollo de estándares para las variables clave: Se definen los rangos de valores en los cuales se desea mantener las variables además de los procedimientos a seguir en el control de las mismas (POES).

Comunicación y entrenamiento: Se comunica toda la teoría del control de proceso a los operarios con el fin de que la apliquen en su quehacer.

Monitoreo de las variables clave: Se sigue el comportamiento de las variables midiendo su valor y llevando un registro gráfico que permita observar su comportamiento en el tiempo (Centerline).

Implantar técnicas para el control de proceso: Se usa el análisis estadístico como herramienta de control de proceso.

Análisis y solución de problemas y auditoría: En base a lo analizado se plantean alternativas de solución ante anomalías encontradas en los análisis.

Es necesario seguir lo estipulado en los siguientes documentos que expresan qué y cómo hacer para mantener las variables en los estándares establecidos:

Matriz de operaciones: Tiene la lista de las variables que se controlan, la frecuencia y el responsable de hacer este control.

Protocolo: Contiene el paso a paso de cómo controlar una variable, también tiene definiciones de términos y equipos que los operarios usan en la medición.

Centerline: Es una herramienta gráfica utilizada para monitorear la variabilidad de los procesos, son variables clave que el operador controla dentro de un rango definido el cual garantiza la calidad en el producto final. Tiene límites establecidos de acuerdo al valor central del estándar lo cual permite observar a simple vista si el proceso se encuentra en control.

POE: Sus siglas significan Procedimiento Operacional Estándar, es la ficha técnica de la variable, este documento contiene el estándar a seguir además de otros aspectos como razones para controlar las variables, acciones correctivas en caso de que una variable no cumpla con las especificaciones, indica si la variable controlada contiene gráfica y cuál es el nombre de ésta. En síntesis, el POE es una guía a seguir en el control de los procesos.

Si se siguen adecuadamente estos documentos, los cuales están ligados entre sí, se logra seguimiento y control de los procesos permitiendo entregar un producto con la calidad exigida por la norma a la que esté sujeta la Empresa.

Capacidad de proceso Cp: Compara la variación de un proceso contra la variación (tolerancias) permitidas en la especificación de las variables, es una medida de la capacidad que tiene el proceso de cumplir con estas especificaciones.

Índice de capacidad de proceso Cpk: Mide la diferencia entre la media de un proceso y la nominal obtenida según las especificaciones definidas para las variables, este parámetro indica si el proceso está cumpliendo con los rangos en que se deben mantener las variables.

El Cp es un valor único que se halla con los límites de especificación y la desviación estándar del proceso mientras que el Cpk en realidad tiene dos valores, de dichos valores se escoge el menor que será el índice de capacidad de proceso definitivo. Un Cp menor a 1 indica que hay demasiados datos fuera del rango de especificación, por lo cual el proceso no está en control. Lo ideal es obtener un $Cp > 1,33$ y $Cpk > 1,33$, de esta manera el proceso estará en control y no habrá demasiados datos fuera de la especificación.

ppm: Número de partes que se desvían de la especificación por cada millón de partes producidas.

Seis Sigma: Un proceso se encuentra a Seis Sigma cuando entre la media y el límite de especificación del cliente se tiene una distancia de 6 veces la desviación estándar, para este proceso se tiene solamente 3,4 ppm.

3 Metodología

Para implementar un proceso a seguir en el análisis estadístico en la Planta se tuvieron en cuenta aspectos teóricos acerca del control de procesos, ya que el análisis estadístico se hace pensando en el control de procesos de tal manera que después de analizar los procesos se planteen alternativas de mejora de los mismos, esto último no es tema de este proyecto, por lo cual es fundamental analizar el proceso desde todas las herramientas posibles que otorguen un entendimiento del comportamiento de las variables claves.

Inicialmente se asistió a una capacitación acerca del control de procesos ofrecida por el Grupo Lamosa en la cual se adquirió el fundamento teórico a tener en cuenta en el análisis estadístico. Se necesitó entender conceptos como matriz de operaciones, mapa de variables, protocolos, POES, centerlines, estas últimas como las más esenciales en el análisis estadístico ya que al tratarse de gráficas se puede observar a simple vista si una variable se encuentra dentro de los estándares definidos.

Se analizaron las bases de datos existentes en las cuales los operarios reportaban los datos medidos, esto permitió identificar falencias en ellas las cuales se mejoraron de acuerdo a lo aprendido en la capacitación, esto también permitió simplificar dichas bases de tal manera que se hicieron más simples de entender por los operarios, lo cual generó una mayor precisión en el registro de los datos tomados y por ende se obtuvo un comportamiento más real del proceso. Se explicó el manejo de dichas bases a los operarios por lo que se logró su correcta implementación, fue clave lograr un registro verdadero de los datos para obtener un comportamiento real del proceso, así que constantemente se capacitó al personal sobre el manejo de las bases de datos y se verificó que los datos registrados fueran verdaderos al tomar las condiciones medidas junto a ellos de tal manera que el dato registrado coincidiera con el dato medido en el momento. También se corrigieron errores de gramática por parte de algunos operarios además de que recibieron su retroalimentación respectiva.

Se modificaron dichas bases y se crearon otras bases auxiliares de tal manera que se lograra una migración rápida de los datos de las bases hacia el software Minitab, esto redujo significativamente el tiempo en el análisis estadístico lo que permitió realizar más análisis y hacer seguimiento a variables que no se analizaban en la planta precisamente por falta de esta rapidez.

El siguiente paso fue documentar de manera clara el proceso a tener en cuenta en el cálculo de la capacidad del proceso en el cual se debió tener en cuenta el tipo de distribución de los datos y otros conceptos que se consultaron y recopilaron en un manual dejado en la Empresa para posteriores análisis. Durante la práctica se aplicó lo descrito en el manual a los datos tomados de diferentes áreas de la planta y se obtuvieron las capacidades del proceso de éstas, las cuales se presentaron ante el director técnico cerámico, jefe de las áreas respectivas y asesor externo con el fin de interpretar los resultados y plantear alternativas de mejora en reuniones de anomalías que se hicieron de manera periódica haciendo seguimiento continuo a los procesos.

Se capacitó al personal operativo acerca del control de procesos en temas como qué acciones tomar en el control de las variables, actividades que garantizaran el estándar de las mismas, importancia de la toma correcta de datos, así como interpretación de las gráficas, registro de anomalías detectadas por ellos en las líneas que permitieran un análisis en las reuniones de anomalías.

Se analizaron las variables claves en la zona de hornos en reuniones con el jefe de dicha área, así como también otros jefes relevantes en ella, de tal manera que se decidieron las variables a controlar las cuales se les dio seguimiento por medio de las centerlines creadas a partir de las sugerencias expresadas en las reuniones. En el seguimiento de estas variables se capacitó al personal operativo sobre la técnica de control procesos y se tomaron las mediciones con un acompañamiento por parte de ellos de tal manera que supieran cómo tomar ellos los datos, esto permitió llevar un registro del comportamiento de los hornos y los datos registrados se analizaron de acuerdo al manual creado presentando los resultados en las reuniones de anomalías de las cuales surgieron planes de acción.

Los operarios fueron clave en el desarrollo de la práctica, saben cómo operar los procesos y los acontecimientos que ocurrieron en las líneas, por lo cual se pasó gran parte del tiempo con ellos buscando alternativas de mejora, esto sumado a los conocimientos de Ingeniería Química surgieron planes de mejora en los procesos que se sugirieron a los jefes respectivos de las áreas abarcadas para su posible implementación futura, la cual no fue tema de este proyecto.

4 Resultados

Con la implementación del análisis estadístico se tienen los siguientes resultados:

1. Mejoramiento en el seguimiento a las variables con bases de datos más completas y entendibles para los operarios. Esto permitirá obtener datos más certeros y en mayor volumen para los análisis estadísticos posteriores.
2. La parte operativa se involucró más en el control de los procesos, al recibir las capacitaciones entendieron el objetivo de medir las condiciones que luego registran en las bases de datos, esto a la vez les permitió entender el comportamiento de los datos lo cual los llevó a tomar medidas en el control de las variables. Se observaron más motivados en la medición de las variables ya que saben para qué se hace este proceso.
3. Se mejoró el entendimiento de las gráficas de las variables al definir correctamente el rango de los valores según lo especifica la técnica de control de proceso, esto permitió a los operarios saber cuándo un dato se encuentra fuera del objetivo lo que los llevó a tomar medidas de corrección, como consecuencia se mejoró la calidad del producto y la capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones.
4. Se logró dar a conocer en la Empresa más información acerca del uso del software Minitab en el análisis estadístico, lo que les permitirá realizar los respectivos análisis estadísticos de los procesos para plantear planes de acción en la mejora continua buscando la calidad del producto final.
5. Se entendió el comportamiento del proceso y su capacidad para cumplir con las especificaciones. Surgieron ideas sobre posibles planes de mejora, los cuales pueden implementarse a futuro para un mejoramiento de la capacidad del proceso.
6. Se dejaron bases de datos en una zona de la Planta que no contaba con un seguimiento de las variables clave. Además, se entrenó al personal operativo de esa área sobre el control de procesos y el seguimiento de dichas variables, con la información recolectada se podrán hacer análisis estadísticos y plantear

oportunidades de mejora del proceso, todo de acuerdo a lo documentado de los pasos a seguir en este análisis.

7. De acuerdo a los resultados de los análisis, se sugirió un estudio de repetibilidad y reproducibilidad para los operarios y los instrumentos de medición en donde se identifique si algún operario no toma las condiciones correctamente y/o algún instrumento está descalibrado. Esto garantizará mayor reproducibilidad en los procesos y control en los mismos.
8. Se sugirió también un diseño de experimentos considerando los factores más significativos para cada variable clave, de tal manera que se encuentre un modelo matemático para estas variables y se pueda predecir su valor dependiendo de los factores que la afectan. Esto permitirá hallar los valores de los factores necesarios que garanticen un valor deseado en las variables claves, es decir, cuáles valores de los factores permiten obtener un valor en las variables de respuesta de acuerdo a las especificaciones que aseguran una calidad en el producto.

5 Discusión

De manera general se observaron varios aspectos de mejora en los procesos, desde el laboratorio de la Planta se deben garantizar condiciones homogéneas en las líneas que permitan desarrollar estudios que se escalen en el proceso. Las conclusiones obtenidas de los análisis y también de las reuniones de anomalías que se hacen, se identifican los factores que alteran los procesos.

Las bases de datos son fundamentales en el seguimiento de las variables, una base de datos lo suficientemente clara para los operarios garantiza una toma correcta de datos, ese es el primer paso en los análisis estadísticos. La precisión en las medidas a la vez ayuda a recopilar más fácilmente la información para usarla en el software y además, las gráficas de las variables también permiten una mejor interpretación del comportamiento del proceso.

El control de procesos es un tema que le compete a varias personas en la Planta, todo comienza con el quehacer de los operarios donde reportan lo que le sucede al proceso, luego por parte de los jefes es necesario analizar esos datos de tal manera que se planteen posibles mejoras de los procesos. Debido a esto, es importante que tanto jefes como operarios estén capacitados en lo que les compete, los operarios en la medición correcta de las condiciones y acciones correctivas frente a las anomalías surgidas, los jefes que sean capaces de usar esa información en beneficio del proceso.

Es relevante dejar constancia del proyecto desarrollado a la Empresa, que todo el trabajo hecho perdure y se pueda seguir realizando, el manual del software Minitab es esa ayuda que se necesita para desarrollar los análisis estadísticos ya que este tipo de análisis requiere de ciertas condiciones y consideraciones que se identificaron en el desarrollo del proyecto.

Así como en este proyecto surgieron algunas ideas de mejora, en posteriores análisis surgirán más, por lo cual la base para mejorar los procesos es el análisis estadístico, todo esto de la mano de los operarios quienes sugirieron ideas desde su conocimiento, es decir, un análisis completo abre puertas a las ideas que pueden probarse en el laboratorio para luego escalarlo a Planta.

6 Conclusiones

Se dejó un sistema de análisis adecuado para el control de las variables en el proceso de revestimientos, esto permitirá a la Empresa Eurocerámica S.A.S. hacer un mejor seguimiento a las variables e identificar las anomalías presentadas de tal manera que se puedan crear planes de acción en la mejora de los procesos.

El seguimiento de las variables no era el más completo, esto impedía detectar fallas en el proceso por carecer de un total entendimiento de los datos, por lo que este análisis estadístico aclaró todo lo que sucede con el proceso.

La estadística es la herramienta más adecuada para entender el proceso, no es suficiente tener un registro de los datos si no se entiende su comportamiento ni se predice lo que le pueda pasar.

El uso del software Minitab da una mirada global con el cálculo de la capacidad del proceso y el índice de capacidad del proceso, también da miradas específicas en el cálculo de los parámetros estadísticos que dan información en algunas partes del proceso, información que permite identificar inconsistencias en el proceso.

Se lograron identificar las anomalías en el proceso ya que los resultados permitieron comprender su comportamiento y los problemas surgidos, por lo cual se sugiere a la Empresa implementar reuniones de análisis donde se planteen planes de acción para mejorar el proceso sin dejar de hacerle seguimiento como se hizo en este proyecto, de esta manera se puede comprobar la mejoría de los procesos.

Aunque no fue tema de este proyecto, se sugiere realizar diseño de experimentos sobre esas variables que otorgaron una capacidad del proceso baja para hallar un modelo matemático que prediga el valor de dichas variables y se puedan ajustar los factores que la afectan de tal manera que se definan las cantidades necesarias que otorguen un valor en las variables de salida de acuerdo al estándar.

Referencias

Armand V. Feigenbaum. Control total de la calidad. Innovación Educativa, vol. 9, núm. 48, julio-septiembre, 2009, p.91. Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, México.

Feller, William (1950). Introduction to Probability Theory and its Applications, Vol I. Wiley. ctp. 221. ISBN 0471257087.

Gladwell, M. (2002). The Tipping Point: How Little Things Can Make a Big Difference.

Gutiérrez Pulido, Humberto; De la Vara Salazar, Román (2012): Análisis y diseño de experimentos. Tercera edición. México D.F: Mc. Graw Hill.

Montgomery, Douglas C.; Runger, George C. (2014): Applied statistics and probability for engineers. Sixth edition. Hoboken NJ: John Wiley and Sons.