



Universidad Juárez del Estado de Durango



XIX Congreso Internacional

De Investigación En Ciencias Administrativas:



**Gestión de las Organizaciones
Rumbo al 3er Milenio.**

**"De la Regionalización
a la Globalización"**



Metodología para determinar la eficiencia de Inspección aplicando el método de Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R) de Seis Sigma: Caso Cerámicos

Nancy Hernández Hernández,
Héctor Rivera Gómez,
Jaime Gamica González.



DESCARGAR

Ponencia 9

ACACIA 2018



Propuesta de mejora al sistema de retiro de la UASLP mediante el QFD



Dr. Juan Manuel Izar Landeta,
Dra. Carmen Berenice Ynzunza Cortés,
MPS Arturo Castillo Ramírez.



DESCARGAR

Ponencia 10

ACACIA 2018

Sistema de apoyo para la gestión interna de los bienes muebles patrimoniales de una institución de educación superior. Una propuesta de mejora

LA Pastor Gerardo José Medina Reyes,
Dra. Teresa García López,
MIEFC Gustavo Lorenzo García López.



DESCARGAR

Ponencia 11

ACACIA 2018

XIX CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS ADMINISTRATIVAS A.C. (ACACIA)

Metodología para determinar la eficiencia de inspección aplicando el método de Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R) de Seis Sigma: Caso Cerámicos

Mesa de Trabajo: Ingeniería y Gestión de Sistemas

Nancy Hernández Hernández□, Héctor Rivera Gómez□,
Jaime Garnica González□

^a Centro de Investigación Avanzada en Ingeniería, Área Académica de Ingeniería (AAI), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, (UAEH), Pachuca Hidalgo, México Teléfono: (01 771) 7172000, extensión: 4001, Fax: (01 771) 7172000 ext. 4001 e-mail: loknan_23@hotmail.com, hriver06@hotmail.com, jgarnicag@gmail.com

21 al 24 de abril de 2015, Durango, Durango, México.

Resumen

Esta investigación muestra el análisis y práctica del método de Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R) por atributos en un departamento de inspección del sector cerámico, con el objeto de plantear las herramientas y situaciones necesarias para su puesta en marcha y de verificar el grado de eficiencia en el muestreo de sus productos. Fue necesario indagar en documentos orientados a sistemas de medición aplicadas en la metodología de Seis Sigma para el sustento de esta investigación. Como resultado del estudio son las consecuencias de la aplicación del método en la inspección de cerámicos, haciendo un reflejo de la situación con la analogía de semáforo, enfatizando los puntos débiles del sistema analizado y presentando algunas alternativas de mejora.

Palabras clave: Repetibilidad, Reproducibilidad, Sistema de medición.

Abstract

This research shows the analysis and practice of the method of repeatability and reproducibility (R&R) by attributes in an inspection department of the ceramic industry, with the aim to raise the necessary tools and situations for your start-up and check the degree of efficiency in the sampling of their products. It was necessary to investigate in documents aimed at measuring systems applied in the methodology of Six Sigma for the livelihood of this research. As a result of this study are the consequences of the implementation of the method in the inspection of ceramic, making a reflection of the situation with the analogy of traffic lights, emphasizing the weaknesses of the system analyzed and presenting some improvement alternatives.

Keywords: Repeatability, Reproducibility, Measurement System.

Introducción

Una de las claves para que las empresas permanezcan dentro del gusto de los consumidores es el de tratar de satisfacer sus necesidades, buscando la conexión y equilibrio entre la calidad y el costo de sus productos. A la par, parte de sus objetivos es generar y hacer dinero, sin embargo, las palabras suenan más fáciles que los hechos. El crecimiento exige adaptarse a estrategias innovadoras para la gestión de la industria y de los sistemas de calidad con el fin de mantener y mejorar el control en los procesos de fabricación y operaciones, pero el miedo al riesgo es constante, entre las múltiples razones, se puede resaltar la falta de conciencia o conocimiento de las nuevas técnicas de mejora, iniciativa de la alta dirección, miedo a la inversión y la resistencia al cambio (Hiregoudar & Soragaon, 2010).

El indagar en la implementación de tácticas que brinden mejoras en los procesos, debe ser parte de las estrategias de toda organización, por ello el recurrir a alternativas que, aunque no nuevas, permanecen constantes por su efectividad, como es el caso de Seis Sigma. Su aplicación no es sencilla, puesto que implica un conjunto de herramientas y pasos a seguir. Basavaraj, Prasad y Bargelis (2011) creen que existe una gran brecha entre la teoría y la aplicación, porque son cada vez más las nuevas herramientas que se incorporan y resultan difíciles llevarlas a la práctica. Por lo que no es ajeno el comenzar a implementar las técnicas necesarias para introducirse al mundo competitivo.

Aunque Seis Sigma es una táctica con grandes provechos, no necesariamente los beneficios serán los esperados, en consecuencia es indispensable adaptar las herramientas y poner en práctica, según sea el caso, con el fin de reducir la variación en las características del producto. El identificar, reducir o eliminar la existencia de posibles discrepancias al efectuar un estudio, puede ayudar a minimizar las fallas en el proceso del producto o servicio (Hasenkamp, 2011; Romero y Romero, 2011).

En un principio Seis Sigma se asentó en los procesos de fabricación, sin embargo, hoy en día se ha apoderado de departamentos como: marketing, compras, finanzas, recursos humanos, entre otros, con el objetivo de reducir continuamente los

defectos que se generan en toda la organización. Utilizado como una estrategia de negocios para mejorar, mediante el seguimiento de las actividades diarias e implementación de arriba hacia abajo, provocando un impacto representativo (Gijoa, Scariab & Antonyc, 2013).

Cabe destacar que Seis Sigma puede promover el beneficio dentro y fuera de la organización. Por lo que uno de sus objetivos es ayudar a los empleados y procesos a lograr que la producción (producto o servicio) sea con el mínimo error posible, es decir, cumplir con la calidad que el cliente interno y externo desea. Por ello, Seis Sigma puede ser visto como un sistema de gestión en donde directivos, administradores y operarios adquieren el compromiso y la toma de decisión a través de ideas, soluciones y mejoras que resultan rentables. Por tanto, la metodología Seis Sigma es el inicio de la obtención de una cultura organizacional proporcionando buenas prácticas de manejo operacional, donde nuevamente se reitera su efectividad y puesta en marcha (Barjaktarović & Ječmenica, 2011; Morato, 2009).

Uno de los factores clave para apoderarse de la metodología de Seis Sigma, es el manejo de la Estadística, puesto que depende, en gran medida, de un análisis de datos, permite a las empresas utilizar métodos estadísticos simples para lograr mantenerse en la excelencia operacional. A palabras de Goh (2011), es entender cómo las distintas técnicas estadísticas deben estar alineadas y aplicadas secuencialmente para optimizar el rendimiento del proceso y en consecuencia, la toma de decisiones deja de realizarse a base de la intuición o presentimiento.

Otros factores a considerar para la efectividad de esta metodología, es la fuerte capacidad de liderazgo y la disposición de la gerencia para la asignación de recursos. Así como el compromiso que se adquiere una vez que se está dentro del proyecto (Torres y Monsalve, 2009).

Aunado a lo anterior Báez, Limón, Tlapa y Rodríguez (2010) señalan que es importante tener en cuenta el nivel de calidad, debido a que pueden existir productos o procesos que no impactan de manera significativa en la satisfacción de los clientes y se

pueden permitir niveles de desempeño menores, de tal modo que Seis Sigma se hace responsable de mejorar sólo aquellos que representen factores críticos para la calidad (CTQ's, por sus siglas en inglés Critical To Quality), lo que a su vez permite no invertir en tiempo y dinero en lo que no requiere esfuerzo, lo que da oportunidad de un estudio y aplicación en este sentido.

A palabras de Romero y Romero (2011, p. 4) *“La evaluación de un sistema de medición se hace con el fin de incrementar la confianza de los clientes y ganar la lealtad hacia el producto que adquieren”*, por lo que para inspecciones por atributos se hace necesario aplicar un estudio denominado Reproducibilidad y Repetibilidad (R&R) por atributos, en donde se trata de reducir o eliminar el impacto de la subjetividad de los evaluadores de calidad. Esto permite conservar un sistema de medición confiable, que garantice que los productos cumplen con las especificaciones de los clientes y evita futuras reclamaciones.

Por lo expuesto previamente, el objetivo de este estudio, es aplicar el método de R&R por atributos, utilizado en la fase de medición de Seis Sigma, que permita medir la calidad de los productos a través de la eficiencia de las inspecciones, así como de incorporar conceptos e impactos dentro en este tema de investigación.

Dentro de esta investigación las limitaciones se ajustan a un estudio de caso de tipo de intervención para una sola prueba y alcance de tipo descriptivo (Pacheco y Cruz, 2007).

El contenido de la presente investigación, se estructura de la siguiente manera: en el punto uno (1) se hace una revisión de la literatura, la descripción de la metodología se detalla en el punto dos (2), para el punto tres (3) se exponen los resultados de la aplicación del método, y por último se presentan las conclusiones en el punto cuatro (4).

1. Aspectos teóricos

Antes de adentrarse al tema en particular, es importante resaltar el origen de Seis Sigma. Se remonta a principios de la era industrial en el siglo XVIII en Europa, donde tuvo una evolución que se consolidó como un ciclo de Planificar, Hacer, Verificar, Actuar (PDCA) desarrollado como metodología por Walter Shewhart, donde se mostró cómo tres desviaciones sigma de la media requieren un proceso de corrección. En 1980 Motorola mejoró el PDCA desarrollando un modelo de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Control conocido por sus siglas DMAIC, como una iniciativa para el mejoramiento de la calidad de largo plazo, dirigido a un difícil objetivo, que el producto sólo puede presentar 3.4 partes por millón de defectos, es decir, mantiene una distancia de seis veces la desviación estándar entre la media del proceso y los límites de especificación. El ingeniero Bill Smith de Motorola en 1985, agregó oficialmente el término Six Sigma y mostró la importancia que existe entre la relación del rendimiento del producto y los ajustes necesarios dentro de la fabricación del mismo. Otro de los aspectos observados, es el resultado de una mayor penetración en el mercado, mayor productividad y costos totales de manufactura y servicios más bajos (Hiregoudar & Soragaon, 2010; Báez et al., 2010).

Se utiliza la letra griega Sigma (σ) para representar la medida estadística de desviación estándar, la cual es una medida de variación. Dentro de este contexto, el enfoque de DMAIC emplea cartas de control, diseño de experimentos, análisis de la capacidad del proceso y una variedad de herramientas estadísticas, donde la calidad es vista en términos del desempeño y las herramientas, se basan en datos para la comprensión y manejo de la variabilidad (Morato, 2009; Goh, 2011).

Como definición Ortiz y Galleguillos (2011) adoptan en sus estudios la siguiente:

Seis Sigma es una estrategia de mejora continua del negocio que busca mejorar el desempeño de los procesos de una organización y reducir su variación; con ello, es posible encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio. En todo momento se toma como punto de referencia a los clientes y sus necesidades. La estrategia 6σ se apoya en una metodología fundamentada en las herramientas y el pensamiento estadístico. Asimismo, tiene tres áreas prioritarias de

acción: Satisfacción del diente, reducción del tiempo de ciclo y disminución de los defectos. (p. 84)

1.1. ¿Qué necesita Seis Sigma para su implementación?

Seis Sigma proporciona un conjunto de herramientas que se utilizan cuando se requiere de un enfoque centrado para resolver cuestiones técnicas complicadas, problemas de diseño y procesos de fabricación, implementando proyectos. Comienza con el estudio de la capacidad del proceso, la cual se refiere a la capacidad para cumplir con las exigencias del cliente (Hiregoudar & Soragaon, 2010).

Barjaktarović y Ječmenica (2011), consideran tres formas básicas que las empresas deben de reconocer en la introducción de Seis Sigma: la primera es la *transformación de los negocios*, el cambio es en la organización desde un aspecto cultural y clima empresarial; el segundo es la *mejora estratégica*, donde se ofrece el mayor número de oportunidades, clave para la compañía; por último, la *resolución de problemas*, donde se cree que es el punto más fácil de aplicar, puesto que el análisis concienzudo se llevó previamente.

Sumado a lo anterior, es necesario para continuar con la implementación, contar con el compromiso de la gerencia, disponer de recursos para realizar las mejoras, identificar claramente el problema y contar con el personal capacitado y comprometido para el desarrollo de estos proyectos (Torres y Monsalve, 2009).

1.2. ¿En que se basa Seis Sigma?

Al aplicar el ciclo DMAIC surge una característica, la cual es, la velocidad con que se obtienen los resultados de forma sistemática, por tanto, es importante aclarar que se realiza en cada fase.

- Fase de Definición

Como primer paso, Seis Sigma comprende la formación de un equipo de trabajo especialmente conformado de aquellas personas relacionadas con el proceso, la definición del problema, el alcance y objetivos del proyecto de mejora en términos de

las necesidades y requisitos del cliente y el cronograma de actividades. En este primer paso, el equipo es capaz de reconocer las metas de la empresa, dominio del mercado de productos y la base de la ventaja competitiva (Varela, Flores y Tolamatl, 2010; Basavaraj et al., 2011; Gijoa, Scariab & Antonyc, 2013).

- Fase de Medición

Se deben detectar las variables que afectan el proceso, determinar el comportamiento del proceso, se analiza el sistema existente con diversas técnicas de medición de los defectos, utilizando las métricas adecuadas, es decir, encontrar el método para cuantificar y medir de forma precisa con el fin de definir una línea base para las futuras mejoras. Se debe tener un análisis del comportamiento del proceso donde en ocasiones las mediciones o muestras se obtienen por largos periodos (Varela, Flores y Tolamatl, 2010; Singh, Remya Shijo, Nair & Nair, 2014).

- Fase de Análisis

Se realiza el análisis que origina la variación del proceso, se determina cualquier disparidad que puede existir en los objetivos establecidos y el rendimiento actual de los niveles alcanzados. Para lo cual, se utilizan herramientas que ayudan a elaborar un estudio fiable como los Diagramas de Ishikawa o Diagramas de Causa y Efecto, que permiten contemplar todas las causas que pueden afectar el problema bajo análisis, a través de un Brainstorming o lluvia de ideas, donde se lleva a cabo una sesión para conocer todas las causas del problema numerándolas en un Diagrama de Afinidad (Varela, Flores y Tolamatl, 2010; Singh, Remya Shijo, Nair & Nair, 2014).

- Fase de Mejora

Se identifican las soluciones para las causas analizadas, se debe de estudiar el riesgo que implica su implementación para que posteriormente se haga observación de los resultados. Considerándose todas las razones generadoras de problemas encontradas en la fase de análisis, así como la selección de las mejores soluciones para erradicar de raíz el problema (Basavaraj et al., 2011; Gijoa et al., 2013).

- Fase de Control

La Fase de Control es el último paso en el método DMAIC, donde todos los esfuerzos se deben de mantener en los niveles de motivación y compromiso de todos los participantes. Directamente es la aplicación de las medidas tomadas y el mantenimiento de las medidas de mejora, a través del control, normalización, documentación e integración del nuevo proceso. Es considerado un verdadero desafío, puesto que es difícil sostener constantemente los resultados alcanzados, requiere de una fuerte estandarización de los procedimientos y conciencia del personal al momento de realizar sus actividades (Singh et al., 2014; Basavaraj et al., 2011; Gijoa et al., 2013).

1.3. Beneficios al aplicar Seis Sigma

Dentro de algunas ganancias y beneficios, se destacan las siguientes: aumento de la conciencia de las necesidades de los clientes, entendimiento de la utilidad de los conceptos y técnicas estadísticas, aplicación de herramientas estadísticas de manera sistemática, la mejora de la calidad, impulsa el rendimiento con respecto a las expectativas de los clientes, ayuda a generar datos cuantitativos de los procesos, proporciona una plataforma para la autoevaluación y mejora, utilización y aprendizaje de hardware y software para resolver los problemas con mayor facilidad (Goh, 2011).

Es importante resaltar que Seis Sigma se maneja en un concepto de innovación, puesto que las ideas que surgen en torno a la satisfacción del cliente pueden ser infinitas, al grado de incorporar técnicas totalmente innovadoras dentro de los procesos de producción, la creatividad nunca se verá limitada puesto que las empresas están dispuestas a ponderar y dar la oportunidad de que los equipos Seis Sigma agoten todas las posibilidades de mejora existente (Bossert, 2013).

1.4. Seis Sigma y el factor Calidad

En muchas ocasiones Seis Sigma puede confundirse con conceptos directamente relacionados con la certificación de un ISO 9000 o un ISO 14000, sin embargo, la relación no es directa, aunque la calidad debe ser lograda en todas las organizaciones, no se logra aterrizar a los requisitos esperados. Si se considera a la calidad como un conjunto de herramientas de gran alcance, utilizadas para el diseño,

control e implementación de una forma sistemática evidentemente se relacionará con Seis Sigma puesto que al final se medirá la variabilidad de los procesos (Goh, 2011; Cruz, 2009).

Algo importante a reflexionar es el ¿cómo medir la calidad?, ¿cómo corroborar que las referencias de la información y evidencias iniciales cumplen lo necesario para que el producto o servicio cumpla con las características que el cliente busca?, por tal motivo, Seis Sigma es incorporada a la evaluación de un sistema de medición con el fin de incrementar la confianza y lealtad (Romero y Romero, 2011).

Por lo anterior, existen procesos que requieren de algún tipo de inspección subjetiva, lo que puede provocar una mayor variabilidad en el sistema de medición afectando directamente la variación del proceso y por ende la capacidad del proceso. Con ello Seis Sigma, implementa específicamente en la fase de medición, herramientas que ayudan a detectar problemas adversos a la variabilidad, como es el caso de los estudios de Repetitividad y Reproducibilidad (R&R), los cuales, a grandes rasgos, tratan de identificar si el trabajo realizado por los inspectores se hace o no de manera consistente y eficiente (Windsor, 2003).

Aunque los estudios de R&R no son netamente nuevos, la mayoría de las organizaciones o gran parte de ellas no incorporan estas técnicas en sus operaciones. Por otro lado, existen aquellas que se ven obligadas a utilizarlas debido a que en algunas industrias resulta ser una exigencia para cumplir requisitos internacionales, con el mínimo objetivo de incrementar el nivel de consistencia del criterio de empleados. Una alternativa de los estudios R&R es cuando se utilizan variables discretas o por atributos, puesto que el impacto de la subjetividad de los evaluadores puede ser un dictamen que influya en la calidad resultante. Aquí el indicador de repetibilidad evaluará la consistencia de la decisión de una persona, mientras que la reproducibilidad evaluará la congruencia de las decisiones de diferentes personas. Existen variables como: la rotación laboral, el nivel educativo, la cantidad de puestos, el nivel de habilidades, el tiempo disponible de estudio y por último un análisis costo – beneficio que permitan

evaluar y determinar si la cantidad de personas, es la necesaria para el proceso y si el proceso cuenta con una frecuencia sistémica (Cruz, 2009).

2. Metodología

Desde el punto de vista conceptual y con base en la necesidad que impera hacia la búsqueda de alternativas de mejora, se procedió a implementar una metodología para comenzar a adentrarse al mundo de Seis Sigma mediante la aplicación del método R&R por atributos cuestionándose lo siguiente: **¿Qué se ha hecho para mejorar los procesos de inspección de artículos?, ¿Cómo afecta la inconsistencia y coincidencia entre operarios?, ¿Qué se puede hacer para mejorar y satisfacer las necesidades del cliente respetando sus requisitos de compra sin afectar el costo del producto?**

No todos los sistemas de medición deben de girar en torno a datos continuos, también existen aquellos que por su origen se atribuyen a datos por atributos, puesto que consisten en hacer clasificaciones en lugar de mediciones, por lo que para Seis Sigma son de tipo inspección por atributo, consisten en determinar la clasificación de un elemento como “bueno” o “malo”, por lo que es posible evaluar la variabilidad del sistema mediante el método de R&R por atributos. Es útil emplear el método de R&R por atributos, debido a la naturaleza de la información. Radica en evaluar por lo menos en dos ocasiones una cantidad suficiente de piezas (más de 30) y conocer el estado original de las piezas, antes de su aplicación, o en el mejor de los casos contar con un valor de referencia continuo. El nivel de información con el que se cuenta determina el tipo de análisis que se puede realizar, utilizando el método de análisis de riesgo, donde el estudio con m operadores evalúan a n piezas r veces clasificándolas con los códigos 1 y 0, como aceptable e inaceptable respectivamente. Básicamente el análisis consiste en obtener estadísticos de acuerdos o desacuerdos entre los operadores (reproducibilidad), dentro de los operadores (repetibilidad) y de los operadores con el estándar (Escalante, 2010; Pyzdek & Keller, 2013).

Por lo anterior, en esta investigación se concibió la realización y aplicación del método R&R por atributos en el sector cerámico, tomando en cuenta desde la selección

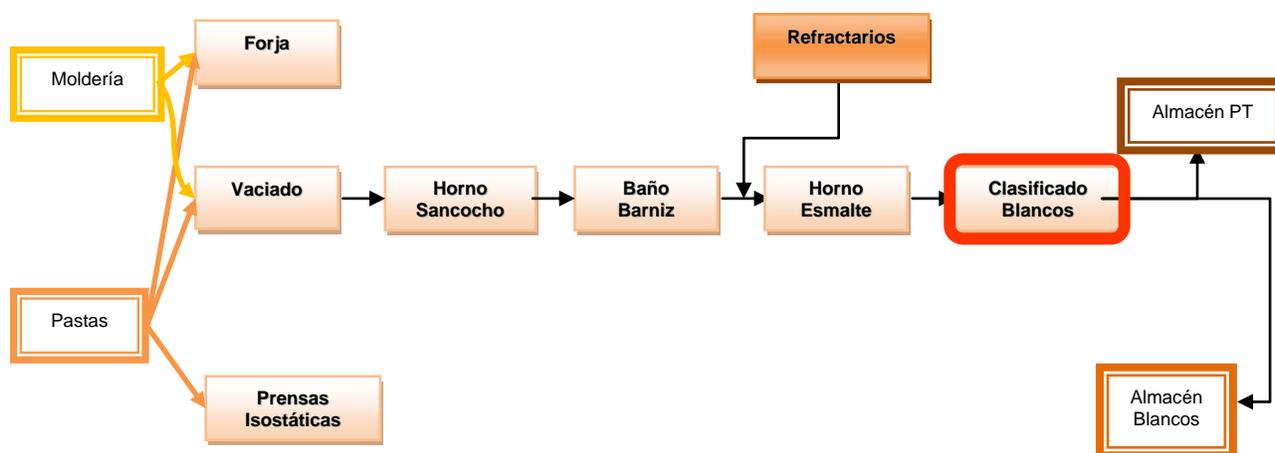
de la empresa, la selección de la bibliografía, aplicación del método, tratamiento y análisis de datos, los resultados y las conclusiones.

A) Selección de la empresa.

Se determinó a partir de comenzar a implementar un método de mejora en una empresa del sector cerámico, ávida de incorporar técnicas en beneficio de sus sistemas de medición, además del acceso a sus instalaciones. El fin es comenzar a implementar el método en uno de sus departamentos, específicamente el de inspección y clasificación de loza de hotel.

El flujo del proceso se encuentra representado en la Figura 1, el trayecto del producto es dirigido directamente hasta llegar a los respectivos almacenes, en específico, la aplicación del R&R por atributos, se llevó a cabo en el departamento de Clasificado Blancos, indicado en el recuadro de contorno grueso y naranja, donde la inspección y separación del producto como bueno o malo es de forma visual.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de fabricación para loza de hotel



Fuente: Elaboración propia.

B) Selección de la bibliografía.

Se sostiene a partir de la estrategia utilizada por Ardón y Sánchez (2012), donde el estado del arte se analizó en tres etapas: entradas, procesos y salidas, y se esquematiza en la Figura 2.

Figura 2. Estrategia de revisión de la literatura



Fuente: Elaboración propia con base en Ardón y Sánchez (2012).

C) Aplicación del método

Para poder efectuar esta etapa fue necesaria la utilización de recursos que permitieran no entorpecer la prueba de R&R por atributos, dentro de los cuales se destaca lo siguiente:

- a. Se recolectaron 100 piezas de la línea de producción, recién egresadas de los hornos de quema, a cargo de un analista de proceso responsable del seguimiento de la prueba.
- b. Se realizó una primera evaluación por parte del supervisor del departamento, la información adquirida fue tomada como la base de la evaluación (estándar) debido a que es la persona con el criterio que acierta a las necesidades del cliente.
 - De las 100 piezas seleccionadas, 67 fueron de “A”, dicho de otro modo piezas sin defecto o “buenas”, el resto piezas no aceptables o “malas”.
 - El analista de proceso era la única persona que conocía el tipo de clasificación a la que pertenecían y por consiguiente el único que se encargó de hacer la separación y control de la información obtenida.
- c. Una vez concluida la primer revisión por parte del supervisor, cada pieza fue numerada del 1 al 100, sin importar el tipo de estratificación al cual correspondió cada pieza.
- d. Se seleccionaron a cinco operarias como participantes para efectuar la evaluación, las cuales, para su fácil manejo fueron numeradas del 1 al 5 (OERARIA 1,

- Cabe aclarar que históricamente la empresa cuenta con 17 defectos conocidos e identificados, en caso de encontrar defectos fuera de lo común se introducen en el apartado de otros (OTR).
- Para mayor comprensión, se describen los defectos en la Tabla 2.

Tabla 2. Descripción de defectos

CODIFICACIÓN	NOMBRE DE DEFECTO	DESCRIPCIÓN
CH	Chueco	Deformación en la línea del artículo, sea en cuerpo, filo, pie y/o boca.
RB	Rebaba	Porción de pasta sobre la superficie de la pieza.
AM	Ampolla	Aire incluido en el cuerpo de la pieza; presentando una fuerte deformación local.
RD	Reliz Desportillado	Desprendimiento del cuerpo del reliz.
BA	Barniz Abierto	Condición en que parte de la pieza no ha sido esmaltada o presenta una capa muy delgada.
MB	Mal Bañado	Acabado de barniz no uniforme en la superficie de la pieza; ondulaciones, escurrido, apariencia opaca.
BG	Barniz Golpeado	Porciones de esmalte "crudo" removido accidentalmente durante el manejo.
BU	Burbuja	"Cráter" grande formado en la etapa de maduración del esmalte y no es rellenado con el esmalte fundido.
GZ	Granza	Pequeña partícula de engobe pegada en el cuerpo de la pieza.
PN	Piel Naranja	Condición del esmalte en que diminutos poros se desarrollan en la superficie del esmalte dado un quemado deficiente.
RED	Reducción	Barniz con un tono azulado y discontinuo.
DH	Defecto de Horno	Manchas de color amarillento sobre el esmalte.
RP	Reliz Pegado	Área del reliz con pequeñas partes descarapeladas.
FS	Fisura	Hendidura que sufre la pasta y que se extiende a través del cuerpo de la pieza teniendo longitud, ancho y profundidad.
PF	Punto de Fierro	Pequeños puntos en el esmalte de color café y negro.
PC	Pasta Contaminada	Coloración diferente al esmalte y siempre por debajo de este.
AP	Aire en Pasta	Pequeño poro sobre el esmalte, caracterizado como un piquete de alfiler.
OTR	Otros	Aplica cuando se desconoce o es poco común.

Fuente: Elaboración propia en base a criterio de empresa.

- g. La aplicación fue durante cuatro días a lo largo de la jornada laboral del primer turno (de 7:00 a.m. a 3:00 p.m.).

D) Tratamiento y análisis de datos

Para un fácil manejo de los datos se procedió a utilizar un libro de Excel, donde la información recopilada se realizó de la siguiente manera:

- a. Para determinar los desacuerdos posibles fue necesario utilizar las siguientes ecuaciones (1) y (2):

$$a_p = \binom{k}{2} = \frac{k!}{2!(k-2)!} \quad (1)$$

$$a_t = a_p * p \quad (2)$$

Dónde:

a_p = Número de posibles desacuerdos diferentes por pieza.

k = Número de evaluaciones a las que es sometida cada pieza.

a_t = Oportunidades para estar de acuerdo o en desacuerdo en las evaluaciones del estudio.

p = Número de piezas en el estudio.

Para este caso a_p corresponde a 190 y a_t a 19000.

- b. Para el análisis del Nivel de desacuerdos, se elaboraron dos tablas. En la Tabla 3 se hace el acumulado de los datos proporcionados por las operarias, en donde los desacuerdos fueron el número de veces que repitieron contra el dato estándar.
- c. En la Tabla 4 se identificó el Nivel de acuerdo, con un total de 10 clases, un No. de pares en desacuerdo que representa la multiplicación de cada pareja del Nivel de acuerdo, un No. de piezas que representa la suma de cada desacuerdo de cada pareja y los Desacuerdos totales que son la multiplicación del Nivel de acuerdo con el No. de piezas.

Tabla 3. Acumulado de desacuerdos

NO.	DESACUERDOS	NO.	DESACUERDOS
0	6	20	7
1	10	19	12
2	5	18	4
3	3	17	5
4	4	16	6
5	2	15	5
6	3	14	3
7	5	13	4
8	5	12	1
9	2	11	4
10	4	10	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Nivel de desacuerdos

NIVEL DE ACUERDO	NO. DE PARES EN DESACUERDO	NO. DE PIEZAS	DESACUERDOS TOTALES
0 o 20	0	13	0
1 o 19	19	22	418
2 o 18	36	9	324
3 o 17	51	8	408
4 o 16	64	10	640
5 o 15	75	7	525
6 o 14	84	6	504
7 o 13	91	9	819
8 o 12	96	6	576
9 u 11	99	6	594
10	100	4	400
TOTAL		100	5208

Fuente: Elaboración propia.

El total de desacuerdos, para este caso de estudio son 5208, en su primera fase.

d. Para el cálculo del Nivel de desacuerdo, se utilizó la ecuación (3):

$$ND_e = \frac{D_e}{a_i} \times 100 \quad (3)$$

Dónde:

ND_e = Nivel de desacuerdo

D_e = representa el total de desacuerdos del estudio

Por lo tanto, el Nivel de desacuerdo resultante, para este caso, es de 27.41%.

e. Para la Determinación de la Repetibilidad, se calculó a partir de la consistencia entre los ensayos de un mismo operador, en el caso de haber coincidencia se anotó cero (0) y de lo contrario uno (1), ver Tabla 5.

Tabla 5. Determinación de la Repetibilidad

OPERADOR	DESACUERDOS	OPORTUNIDADES	PORCENTAJE (%)
1	37	100	37
2	28	100	28
3	54	100	54
4	30	100	30
5	45	100	45
TOTAL	194	500	38.8

Fuente: Elaboración propia.

En este punto se utilizó la siguiente ecuación (4):

$$ND_{rep} = \frac{D_{rep}}{O_{rep}} \times 100 \quad (4)$$

Dónde:

ND_{rep} = representa el total de desacuerdos

D_{rep} = representa el total de desacuerdos

O_{rep} = total de oportunidades.

Por tanto el Nivel de desacuerdos atribuibles a repetibilidad es 38.80%, la cual se considera la medida de consistencia de cada operador.

f. Para la Determinación de la Reproducibilidad (ver Tabla 6), es necesario comparar el total de piezas aceptadas por cada operador en los cuatro ensayos.

Tabla 6. Determinación de la Reproducibilidad

OPERADOR	NO. DE PIEZAS ACEPTADAS				TOTAL ACEPTADAS	TOTAL EVALUADAS	PORCENTAJE DE ACEPTACIÓN
	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4			
1	41	51	55	52	199	400	49.75
2	60	52	60	59	231	400	57.75
3	49	56	37	44	186	400	46.5
4	59	43	48	48	198	400	49.5
5	60	58	60	60	238	400	59.5
TOTAL					1052	2000	52.6

Fuente: Elaboración propia.

La diferencia sistémica entre operadores, se representa en la Tabla 7.

Tabla 7. Determinación de la Reproducibilidad entre operadores

OPERADOR	2		3		4		5		
	NO.	%	NO.	%	NO.	%	NO.	%	
1	100	12.50%	121	15.13%	101	12.63%	109	13.63%	
2			129	16.13%	85	10.63%	87	10.88%	
3					118	14.75%	146	18.25%	
4							106	13.25%	
TOTAL	100		250		304		448		1102

Fuente: Elaboración propia.

g. Para el cálculo del Nivel de reproducibilidad total, fue necesario utilizar la formula (5):

$$ND_{repro} = \frac{D_{repro}}{O_{repro}} \times 100 \quad (5)$$

Dónde:

ND_{repro} = Nivel de desacuerdo para la reproducibilidad

D_{repro} = total de desacuerdos entre parejas de operarios

O_{repro} = total de oportunidades entre operarios.

Por consiguiente el Nivel de desacuerdos para la Reproducibilidad, fue de 13.78%.

3. Resultados

En la Tabla 8, se indica el acumulado de los datos obtenidos.

Tabla 8. Recopilado de la información.

FUENTE		PORCENTAJES DE DESACUERDO	
REPETIBILIDAD		38.80 %	
REPRODUCIBILIDAD		13.78 %	
TOTAL		27.41 %	
OPERADOR	REPETIBILIDAD (%)	PIEZAS ACEPTADAS (%)	
1	37.00	49.75	
2	28.00	57.75	
3	54.00	46.50	
4	30.00	49.50	
5	45.00	59.50	
PROMEDIO	38.80	52.60	

Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de generar una interpretación visual, se adopta la analogía semáforo, la cual consiste en colorear de verde cuando los índices del sistema de medición están por debajo de 10% y puede ser descrito como adecuado hasta excepcional. Cuando los índices están entre 10% y 30%, se colorean de amarillo o naranja, se puede subdividir al 20%, aquí el sistema de medición se describe de bueno a marginal. Aquellos índices superiores al 30%, se pueden colorear de rojo, se describen como pobres y son una indicación de que el sistema de medición no es adecuado y necesita de mejora (Whitea & Borrór, 2011). Lo anterior se ilustra en la Tabla 9.

Tabla 9. Analogía de semáforo.

	P/T < 10%, excelente proceso de medición
	10% < P/T < 20% bueno
	20% < P/T < 30% marginal (casi inaceptable)
	P/T >= 30% inaceptable y debe corregirse

Fuente: Elaboración propia en base a Whitea y Borrór (2011).

Con base en la Tabla 9, la interpretación de la Tabla 8 es:

- La evaluación de las operarias individualmente, indica que hay espacio para la mejora, la consistencia de los ensayos o repetibilidad es un problema, obteniendo un 38.80%, lo que representa una situación desalentadora y casi inaceptable.
- En la reproducibilidad, se obtuvo un total de 13.78%, lo que representa un sistema entre operarias calificado como “bueno”, aunque con oportunidad de mejorarlo.
- El mejor nivel de concordancia al sistema o de repetibilidad, lo presentó la OPERARIA 2 con el 28%, acercándose al estándar fijado por la supervisión (67%) al calificar con el 57.75% (diez puntos menos del ideal). Sin embargo, aún sigue representando una situación marginal al sistema de medición.
- En el contexto del estándar del 67%, la OPERARIA 5, se acercó obteniendo un 59.50%, siendo uno de los mejores resultados, mostrando que la mayoría de las piezas son atribuibles a “buenas”, esta deducción puede ocultar un problema inaceptable en base a su repetibilidad o inconsistencia calificada con el 45%.
- Por otra parte, los resultados por parejas indican que la OPERADORA 3, tiene un problema de repetibilidad y reproducibilidad con un nivel del 54%, lo que es inaceptable, representando una situación crítica a corregir. Además de alejarse con casi 23 puntos por debajo del estándar.
- De manera general el sistema presenta un nivel de 27.41% en la repetibilidad y reproducibilidad. Lo que conlleva a ser casi inaceptable, dando urgentemente la oportunidad a mejorarlo.

4. Conclusiones

Se realizó un estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R) por atributos, con el fin de identificar las fuentes de variación que contribuyen en la desviación de piezas “buenas” o “malas” en el departamento de clasificado de blancos loza hotel. Donde es importante resaltar que la escala de eficiencia evaluada entre las clasificadoras denota una alta necesidad de mejora. Volviéndose trascendental hacer un análisis más detallado, debido a que el desvió puede estar provocando una perdida grande de piezas.

Durante esta primera fase, el análisis demuestra la necesidad de rediseñar y planificar una segunda medición, con el fin de corroborar los resultados previamente obtenidos, y confirmar que efectivamente la fuente de variación repercute en la repetibilidad. Además, se detectó que algunas operarias dudaban e incluso desconocían algunos defectos al evaluar, lo que pudo provocar confusión y sesgo de los resultados, recomendando dar instrucciones de forma precisa y clara antes de cada evaluación.

Es importante enfocar esfuerzos a la estandarización de los procedimientos de inspección para el entrenamiento de los(as) operadores(as), donde se recomienda elaborar un manual de defectos que explique y esquematice los más comunes o de dudas para el personal, con el objetivo de capacitar, inducir o entrenar a personal de nuevo ingreso y al existente.

Cabe destacar, que la aplicación del método, se puede ajustar al ramo de los cerámicos de alta temperatura como: loza de hotel, muebles sanitarios, accesorios sanitarios y botellas cerámicas, debido a que sus inspecciones son de tipo cualitativa.

Por lo antes expuesto se cumple con el objetivo de esta investigación.

Referencias

- Ardón, R. y Sánchez, G. (2012). Evaluación de escenarios: una revisión descriptiva de su literatura, *Retos de las ciencias administrativas desde las economías emergentes: evolución de sociedades*, 1-19.
- Báez, Y. A., Limón, J., Tlapa, D. A. y Rodríguez, M. A. (2010). Aplicación de Seis Sigma y los Métodos Taguchi para el Incremento de la Resistencia a la Prueba de Jalón de un Diodo Emisor de Luz. *Información Tecnológica*, 21 (1), 63-76.
- Barjaktarović, L. & Ječmenica, D. (2011). Six Sigma Concept. *Acta Technica Corviniensis Bulletin of Engineering*, 5, 103-108.
- Basavaraj, Y., Prasad, S. & Bargelis, N. (2011). Improvement of process capability through six sigma and robust design: case study at an Indian steel manufacturer. *International Journal of Industrial Engineering*, 18 (9), 482-492.
- Bossert, J. (2013). Six Sigma Stifles Innovation? No!. *The Journal for Quality & Participation*, 39-40.

- Cruz, J. (2009). Entrenamiento proactivo para la mejora de la calidad en el control del proceso por atributos. *Innovaciones de Negocios*, 5 (2), 219 -238.
- Escalante, E. J. (2010). *Six Sigma, Metodología y Técnicas*. México: Limusa.
- Gijoa, E. V., Scariab, J. & Antonyc, J. (2013). Application of Six Sigma Methodology to Reduce Defects of a Grinding Process. *Quality and Reliability Engineering International*, 27, 1221-1234.
- Goh, T. N. (2011). Six Sigma in Industry: Some Observations After Twenty-five Years. *Quality and Reliability Engineering International*, 27, 221-227.
- Hasenkamp, T. (2011). Engineering Design for Six Sigma - A Systematic Approach. *Quality and Reliability Engineering International*, 26, 317-324.
- Hiregoudar, N. L. & Soragaon, B. (2010). Development of a Conceptual Model for Implementation of Six Sigma Concept in Manufacturing SMEs: The Indian Scenario. *The West Indian Journal of Engineering*, 32 (1, 2), 12-19.
- Morato, J. (2009). Reducción de gasto energético eléctrico usando Seis Sigma. *Producción + Limpia*, 4 (2), 90-102.
- Ortiz, R.A. y Galleguillos, L. (2011). Mejoramiento del servicio de galvanizado mediante Seis Sigma y el análisis de la información. *Ingeniería Industrial*, 10 (2), 81-102.
- Pacheco, A. y Cruz, M. C. (2007). *Metodología crítica de la investigación*. México: CECSA.
- Pyzdek, T. & Keller, P. (2013). *The Six Sigma Handbook*. McGraw Hill, Third Edition.
- Romero, L. F. y Romero D. L., (2011). Estudio R y R por atributos de un proceso de inspección en el sector automotriz. *Produção em Foco*, 1 (1), 140-165.
- Singh, S., Remya T., Shijo T. M., Nair, D. & Nair, P. (2014). Lean Six Sigma application in reducing nonproductive time in operation theaters. *The Journal of National Accreditation Board for Hospitals & Healthcare Providers*, 1 (1), 1-6.
- Torres, C. y Monsalve O. A. (2009). Aplicación de metodología Seis Sigma para disminuir intervenciones en proceso de fabricación de vidrios. *Ingeniería Industrial*, 93-105.
- Varela, J.A., Flores, E. y Tolamatl, J. (2010). Disminución de la Variación de un Proceso de Producción de Muebles con Seis Sigma. *Conciencia Tecnológica*, 40, 35-41.

- Whitea, T. K. & Borrer, C.M. (2011). Two-dimensional Guidelines for Measurement System Indices. *Quality and Reliability Engineering International*, 27, 479-487.
- Windsor, S. E. (2003). Attribute Gage R&R. *Six Sigma forum magazine*, 23-28.