

Artículos científicos**Aplicación de la metodología DMAIC en Sistema de Medición como estrategia para fortalecer el conocimiento individual.: Revisión de Literatura**

Application of DMAIC Methodology in Measurement System as a Strategy to Strengthen Individual Knowledge: A literature Review

Jenny Ramírez Lavenant

Tecnológico Nacional de México / I.T. De Cd. Juárez
M23111959@cdjuarez.tecnm.mx

Jorge Adolfo Pinto Santos

Tecnológico Nacional de México / I.T. De Cd. Juárez
Jorge.ps@cdjunm.mx
<https://orcid.org/0000-0001-9614-2764>

Manuel Arnoldo Rodríguez Medina

Tecnológico Nacional de México / I.T. De Cd. Juárez
manuel_rodriguez_itcj@yahoo.com
<https://orcid.org/0000-0003-1676-0664>

Adán Valles Chávez

Tecnológico Nacional de México / I.T. De Cd. Juárez
avalles@itcj.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-6559-0123>

Una inversión en conocimiento siempre paga con los mejores intereses
Benjamín Franklin

Resumen

En la actualidad, el conocimiento de las técnicas de mejora de la calidad contribuye en las empresas a mejorar los indicadores de desempeño de los procesos productivos y de servicios, pero una investigación preliminar de los conceptos relacionados con el problema que se esté tratando de resolver, ayudara al personal a definir correctamente las estrategias en herramientas de calidad a usar, optimizando los recursos disponibles para la solución de este.

La revisión de literatura de este artículo aborda principalmente el análisis de los sistemas de medición y su validación, así también como contribuyen a confirmar que los equipos / dispositivos tienen un comportamiento estadístico de acuerdo con lo especificado en los estándares de aceptación de los resultados. Analizar el error introducido al sistema de medición, incluye también identificar los factores que afecten en primera instancia al desempeño del equipo. La metodología DMAIC aparece como método para identificar estos factores y a través de esta se busca reducir su contribución al error del equipo / dispositivo, esto con la finalidad de que él se evalúe de forma correcta y consistente la medición realizada, confirmando datos que son relevantes para la toma de decisiones.

Palabras Claves: Análisis de los sistemas de medición MSA, Metodología DMAIC, error de medición.

Abstract

Nowadays, knowledge of quality improvement techniques helps companies improve the performance indicators of production and service processes, but a preliminary investigation of the concepts related to the problem being solved will help staff to correctly define the strategies in quality tools to use, optimizing the resources available for solving it.

The literature review of this article mainly addresses the analysis of measurement systems and their validation, as well as how they contribute to confirming that the equipment/devices have statistical behavior in accordance with what is specified in the results acceptance standards. Analyzing the errors introduced into the measurement system also includes identifying the factors that primarily affect the performance of the equipment. The DMAIC methodology appears as a method to identify these factors and through it seeks to reduce their contribution to the error of the equipment/device, this with the purpose of correctly and consistently evaluating the measurement carried out, confirming data that is relevant for decision making.

Keywords: Measurement Systems Analysis (MSA), DMAIC Methodology, measurement error.

Fecha Recepción: mayo 2024

Fecha Aceptación: octubre 2024

Introducción

"El juego axial es la cantidad de movimiento axial o de extremo a extremo en un eje debido a juego en los rodamientos", Timken (2014).

El ajuste adecuado del cuerpo de aceleración es importante para garantizar un flujo de aire suave y constante al motor. Un ajuste incorrecto puede afectar el flujo de aire, el cual está directamente relacionado con el proceso de inyección de combustible al motor, disminuyendo su eficiencia.

Cualquier tipo de proceso requiere dentro de su organización un sistema de medición apropiado que permita medir la calidad de las características de los productos que se fabrican (Botero Arbeláez et al, 2007).

Para los sistemas de medición, La calidad de los datos de medición, está relacionada en gran medida con sus características estadísticas, así como las condiciones estables del sistema de medición del cual fueron obtenidas, AIAG 2010. Manual del Análisis del sistema de Medición (4ta Edición). Si las lecturas están cerca de un valor considerado como “maestro”, entonces podemos considerar que la calidad del dato de medición es alta. En el caso que el valor este lejos de este “maestro”, la calidad del dato de medición se consideraría baja / mala.

Planteamiento del problema

El conocimiento de técnicas de mejora de la calidad es importante, pero lo que toma relevancia son las estrategias que el ser humano plantea para analizar un problema en base a este conocimiento.

Para este caso, una de las fases importantes del lanzamiento de nuevo producto es aquella relacionada el análisis de los sistemas de medición. Si el equipo de medición que evalúa la característica de salida este nuevo proceso o equipo de manufactura no es previamente verificado por los estudios de Análisis de sistema de medición aplicables, el error que aporte a la medición de la característica podría impactar de manera adversa el indicador de capacidad de proceso, de acuerdo con los requerimientos específicos del cliente, ejemplo $CPK > 1.67$, AIAG Manual de Aprobación de Partes de Producción (2006), enfocando los esfuerzos incorrectamente a mejorar el nuevo proceso en lugar del equipo de medición.

A continuación, los criterios de aceptación en la tabla 2.1., Manual de MSA 4ta edición, AIAG 2010.

Tabla 2.1 Criterios de aceptación para estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad

Estudio R&R	Decisión	Comentarios
Bajo del 10%	Aceptable	Recomendado especialmente de utilidad cuando se trata de sortear o clasificar partes o cuando un control ajustado de proceso es requerido
10% al 20%	Marginalmente aceptable	La decisión deberá ser basada por ejemplo en la importancia de la aplicación de la medición, costo del dispositivo de medición y costo del retrabajo o reparación. Debería ser aprobado por el cliente

Por arriba del 30%	Inaceptable	Cada esfuerzo debe ser realizado para mejorar el sistema de medición.
--------------------	-------------	---

Nota: Traducción de tabla de Manual de MSA 4ta edición, AIAG 2010.

Este trabajo se centrará la identificación los principales factores que influyen en el sistema de medición del % de juego axial final de un cuerpo acelerador.

Antecedentes

En investigaciones realizadas para el tema de medición de juego axial, se encontró a Madoering (2015), quien en su investigación pretende evaluar si la aplicación de una característica adicional (oscilación) al método de medición del juego axial actualmente usado en la industria de fabricación de equipo mecánico, contribuye a minimizar las variaciones en la lectura y obtener como consecuencia, una disminución el error.

El estudio es realizado a través de una comparación de medias entre ambos métodos (oscilatorio y no oscilatorio) con una prueba t y método Anova, el cual es confiable para la reducción del error. La investigación concluye que las medias de ambos métodos no son iguales, por lo que el autor recomienda la creación de un caso de negocio y así poder justificar el capital necesario para la implementación del método oscilatorio en el sistema de medición del juego axial.

Descripción del Problema

El análisis de los sistemas de Medición para su validación en la etapa de Lanzamiento de nuevos productos es crítico para el avance de las actividades, especialmente si los estudios del sistema de medición, conocido como estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad no cumplen con los requerimientos del Manual de MSA 4ta edición.

Debido a lo anterior, el resultado del indicador de capacidad de proceso (CPK) podría no estar acorde a los requerimientos específicos de cliente, iniciando así un proceso de mejora del indicador y derivando en demoras en la aceptación de un nuevo lanzamiento.

Preguntas de Investigación

Esta investigación pretende responder:

¿Cuáles son los factores que afectan la variación del Sistema de Medición del % de juego axial final en la flecha del cuerpo acelerador?

¿Cuáles es el efecto del error del sistema de medición en el indicador de capacidad de proceso para esta característica del producto?

Hipótesis

Para esta investigación se han establecido las siguientes hipótesis:

H1: El método de medición afecta el resultado del % de Variación del estudio

H2: El indicador de capacidad de proceso es afectado por el error del sistema de medición, disminuyendo su valor por incremento en la dispersión de las lecturas.

Objetivo

Identificar los factores que afectan el sistema de medición del % de juego axial en un cuerpo acelerador para establecer las mejoras y controles necesarios para su mejora usando la metodología DMAIC.

Objetivos específicos

- Identificar los factores que influyen en el error del sistema de medición para el % de juego axial final de la flecha del cuerpo acelerador.
- Implementar las posibles mejoras de la estación externa de medición que se llegaran a definir en esta investigación.
-

Justificación

La investigación planteada pretende contribuir a la mejora del Sistema de Medición en sí, e impactar directamente el indicador de capacidad de proceso.

La mejora en el sistema de medición considera beneficios como:

- Reducción del tiempo de validación para futuros proyectos que utilicen el mismo principio de Sistema de Medición por conocimiento de los factores que lo afectan.
- Reducción del desperdicio a través de la reducción de los rechazos por el error de medición del sistema.
- Incremento en la productividad.
- Reducción de la frecuencia de la rutina de inspección de calidad para esta característica.
- Reducción de la operación de recuperación / retrabajo.

Por Metodología de DMAIC se estimará el valor de ahorro potencial.

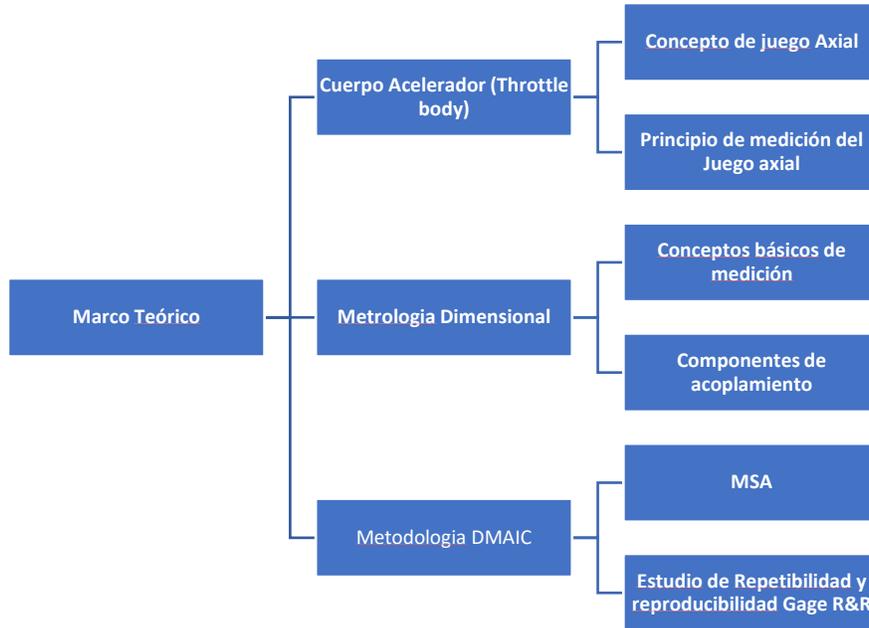
Delimitaciones

Este proyecto se aplicará en el área de proceso, enfocado en el equipo externo de medición del % de juego Axial de la flecha para el producto tipo A que actualmente se manufactura en las líneas de producción; y su aplicación será en la planta ubicada en el Estado de Chihuahua.

Marco teórico

El mapa conceptual del marco teórico descrito en la figura 3.1, tiene como objetivo ilustrar los conceptos relacionados con el problema que se desea resolver a partir de la revisión bibliográfica existente y relacionada al tema.

Figura 3.1. Mapa conceptual del Marco Teórico.



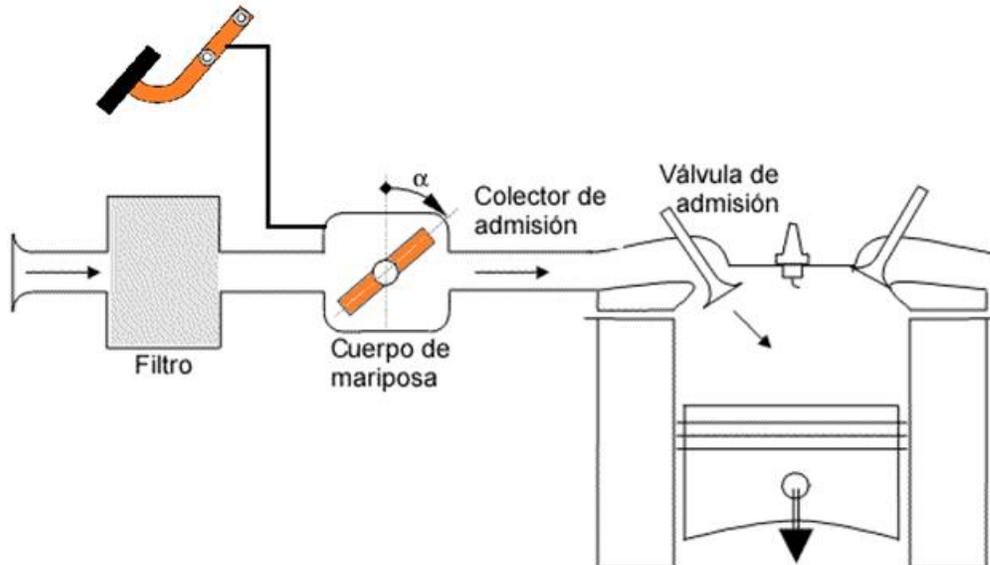
Nota: Conceptos principales que son parte de la investigación previa de fuentes bibliográficas, de propia elaboración.

Cuerpo acelerador

Los automóviles con inyección de combustible requieren de un sistema de admisión de aire que controle el flujo de este hacia el motor. Para ello se hace uso de un cuerpo del acelerador, el cual se ubica entre la caja del filtro de aire y el colector de admisión. Su función es regular esta entrada de aire en respuesta a la señal del pedal del acelerador del conductor.

El cuerpo acelerador está conectado al sensor de flujo de masa de aire. El mecanismo funciona de la siguiente manera: El conductor presiona el pedal del acelerador, el cual envía una señal al cuerpo del acelerador para regular en función de la demanda del pedal, el flujo de aire que entra al motor, Hernández Martínez, A. L. (2014). Figura 3.2.

Figura.3.2 Conexión tradicional entre cuerpo acelerador y válvula de admisión de aire del motor de automóvil.



Nota: El cuerpo acelerador se ubica entre el filtro de aire y el colector de admisión. Hernández Martínez, A. L. (2014).

Cuando el pedal de aceleración en el carro es activado, una señal electrónica es enviada al control electrónico del cuerpo de aceleración, el cual regula la posición del plato en la carcasa a través del movimiento de la flecha, la cual está conectada a un sistema de reducción de engranes controlados por un servo motor de corriente directa y la unidad de control electrónico (ECU). Un sensor de posición del acelerador (TPS) que se incluye en una cubierta de la carcasa y retroalimenta la posición del plato del cuerpo acelerador a la unidad de control electrónico (ECU), McDonnell et al (2001).

Esto permite una mayor entrada de aire al motor y como consecuencia se inyecta una mayor cantidad de gasolina, incrementando la potencia del motor.

Concepto de Juego axial

El juego axial se refiere al movimiento de un componente a lo largo de su eje de rotación. Prevalce en componentes como baleros, ejes / flechas y engranajes y representa la cantidad de movimiento permitido de un componente dentro de su carcasa.

La flecha del cuerpo acelerador se mantiene en la carcasa por medio de dos baleros, y su movimiento axial se limita por medio de un elemento de retención que asegura uno de los extremos de la flecha, y ayuda a mantener la alineación entre la misma y el sensor de posición.

Un juego axial insuficiente puede causar atascamiento y desgaste prematuro. En aplicaciones en las que hay fuerzas axiales o cargas de empuje, la consideración adecuada del juego axial es crucial para garantizar un funcionamiento estable y fiable. Los ingenieros deben calcular y especificar cuidadosamente el juego axial permitido para la aplicación y en función de las características de los componentes involucrados.

Principio de medición del Juego axial

El juego Axial se mide aplicando una fuerza axial en ambas direcciones y midiendo la distancia recorrida por la flecha en entre los baleros/rodamientos. La cantidad de fuerza axial que se requiere para mover cualquier conjunto determinado variará con la masa del conjunto, el material del conjunto y los baleros, y el diseño de la carcasa en la que reside el conjunto. La fuerza debe ser suficiente para mover el conjunto, pero es importante que la fuerza sea lo suficientemente baja para garantizar que no se produzca deflexión de ningún componente individual. Madoerin, N. (2015).

Dimensiones y Tolerancias Geométricas en la industria.

La industria moderna utiliza procedimientos de planificación y producción en serie, los cuales aparecieron a partir de la fabricación de armas y automóviles.

La mejora en los métodos de medición permitió eliminar el mito de la “perfección” de la producción manual. La industria ahora entiende que la variación es inevitable. En las dimensiones de los ensambles, un rango aceptable de variación es aceptable sin que se vea afectado el buen funcionamiento de estos y bajo el principio de que la variación sea controlada en base al conocimiento y entendimiento de su origen. El desarrollo de un sistema de tolerancias y/o coordenadas, contribuyó una mejor identificación de la variación en el dibujo de ingeniería o diseño, Olmos, E. J. R. (2011).

Las dimensiones y tolerancias geométricas son definidas como: “Las especificaciones geométricas del producto”, las cuales se refieren a forma, tamaño y relación posicional de un producto. La “tolerancia geométrica” se caracteriza por una definición que incluye los errores permitidos para la forma y posición, además del tamaño, Keyence (2024).

Tabla 3.1 Organismos de Normalización,

Acronimo	Organismo de normalización	Norma para dimensionado y aplicación de tolerancias
ANSI	Instituto Nacional de Normalización Americano de	ASME Y14.5 M-1994 (R2009)

ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos	
ISO	Organización Internacional de Normalización	ISO R1101
CSA	Asociación de Normas Canadienses	CAN/CSA B78.2-M91

Nota: Se muestran los principales Organismo de normalización en el mundo y las normas de dimensionado aplicable. Tomada de Diseño e ingeniería por Jensen, et al., (2006).

Durante la etapa de diseño y antes de establecer un nivel de precisión, se deberá considerar entre otras cosas: destino y condiciones de montaje, etc. También debe considerarse que, a mayor precisión, se requiere una medición más precisa, incrementando el tiempo y el costo del instrumental, dos razones importantes para no adoptar esta alternativa, Grupo tecnología Mecánica -Proceso de Fabricación (s.f).

Conceptos Básicos de Medición.

Los siguientes conceptos son utilizados en la asignación de dimensiones y tolerancias en los dibujos. La importancia de conocer su significado es evitar ambigüedad y asegurar se utilicen los métodos correctos para la asignación de tolerancias.

Dimensión

Característica geométrica, especifica tamaño, diámetro, longitud, ángulo, ubicación o distancia entre centros. se utiliza por conveniencia para indicar la magnitud o valor de una dimensión.

Tolerancia Dimensional

Se refiere a la variación total permitida para dimensión específica y es la diferencia entre el límite mayor o menor, y en algunos casos la tolerancia dimensional puede ser definida bilateralmente.

Tolerancia geométrica

Es la variación máxima permisible para la forma, orientación, ubicación y fuera de centro de un dibujo. Representa la zona de tolerancia para líneas y superficies de detalle.

Cuando usar Tolerancias Geométricas y dimensionales

Cuando las características de una pieza son de Intercambiabilidad (ensamble o función): Las piezas que pueden ser sustituidas por otras sin necesidad de retoques ni ajustes, debido a que no afectan significativamente las características de funcionamiento del ensamble al que se integran.

El objetivo principal de la intercambiabilidad es facilitar la producción en serie y el ejemplo más representativo es la producción de automóviles de Henry Ford y el cual con piezas intercambiables conquistó el mercado.

Cuando se usan técnicas de calibración funcional (Escantillón).

Cuando las referencias de Datum son importantes para asegurar la armonía entre el diseño, la fabricación y la inspección. Cuando es necesario un lenguaje “universal” en el diseño común de ingeniería

Datum: Son planos usados como referencia para la verificación dimensional de una parte. Anteriormente representado como una caja rectangular con dos guiones, en la norma ANSI Y14.5 1982, con el objetivo de unificar los estándares de los Estados Unidos a las normas internacionales, el símbolo fue cambiado de acuerdo con la norma ASME Y14.5 1994, Jensen, et al., (2006).

Tolerancias Geométricas

La tolerancia geométrica de un elemento, una pieza, superficie, eje, plano de simetría, etc., se define como la zona de tolerancia dentro de la cual debe estar contenido dicho elemento. Dentro de la zona de tolerancia el elemento puede tener cualquier forma u orientación, salvo si se da alguna indicación más restrictiva, Espinosa Martínez et al (2019). Ver tabla 3.2

Tabla 3.2. Lista de símbolos de tolerancia geométrica (Norma relevante: ISO 5459).

Nivel de característica	Tipo de tolerancia	Característica geométrica	Símbolo
Característica única	Tolerancia de forma (desviación de forma)	Rectitud	—
		Planitud	▭
		Redondez	○
		Cilindricidad	⊘
		Tolerancia de perfil de línea	⌒
		Tolerancia de perfil de plano	⌒
Característica asociada (requiere característica de referencia)	Tolerancia de orientación	Paralelismo	//
		Perpendicularidad	⊥
		Angularidad	∠
	Tolerancia de ubicación (desviación de ubicación)	Posición	⊕
		Coaxialidad	⊙
		Concentricidad	
		Simetría	≡
		Tolerancia de perfil de línea	⌒
	Tolerancia de perfil de plano	⌒	
	Tolerancia de descentrado (desviación de descentrado)	Descentrado circular	↗
Descentrado total		↗↘	

Nota: Se muestran los símbolos de características geométricas más comunes a nivel de característica del dibujo. Keyence (2024)

Componentes de acoplamiento

Entre las recomendaciones del diseño de los componentes que componen el cuerpo del acelerador se encuentran la de los orificios de alojamiento en la carcasa y la flecha que pertenecen al soporte estándar para el balero / rodamiento. Se puede garantizar el correcto funcionamiento de los baleros si se siguen estas recomendaciones y si los baleros del cuerpo acelerador se han instalado correctamente (Shaeffler, 2020).

Carcasa

Los baleros del cuerpo acelerador requieren orificios dimensionales y geoméricamente precisos en el cuerpo, ya que las grandes fluctuaciones en los espesores de las paredes del soporte y las nervaduras cerca de los asientos de los rodamientos tienen un efecto adverso en los ajustes cerrados y la precisión de la excentricidad.

Flecha

Para que el rodamiento/balero permanezca hermético, el sello no debe dañarse cuando se instala la flecha. Debido a esto y teniendo en cuenta la dirección de la inserción: se deben evitar los bordes afilados, a través de chaflanes de plomo, se deben eliminar todas las rebabas en los orificios, huecos, ranuras, etc. Los métodos de remoción de la rebaba incluyen el cepillado o el chorreado abrasivo (por ejemplo, chorreado de perlas de vidrio). Otros elementos como el

diámetro de la rosca o ranura en el extremo de la flecha y la rugosidad de la superficie de la rodadura deben ser también consideradas y revisadas.

Balero / rodamientos (Cojinetes con elementos rodantes).

Los baleros / rodamientos de bolas (altas velocidades), rodillos y agujas (mayores cargas) se pueden clasificar en tres grandes categorías: radiales, de empuje (axiales) y de contacto angular. Ver Fig. 3.3

Figura 3.3 Tipos de rodamientos más comunes en la industria.



Nota: Comúnmente también conocidos como cojinetes. Real Diez, Cesar (2020).

Importancia del ajuste

Los ajustes dependen del tamaño, tipo y grado de tolerancia. Un ajuste demasiado apretado puede originar ajustes internos por interferencia que acortan la vida del balero / rodamiento.

Tipos de ajuste de los baleros / rodamientos.

El término ajuste es asociado con las holguras que están permitidas en el acople de las piezas para el fácil ensamble de un dispositivo mecánico. Durante el funcionamiento normal del dispositivo estas piezas deben moverse una con respecto a las otras, conociendo este ajuste como de rodamiento o deslizantes. El ajuste también debe indicar la cantidad de interferencia que existe cuando la pieza interna debe ser mayor que la pieza externa y este ajuste es utilizado para asegurar que las piezas acopladas no se muevan una en relación con la otra, Mott, R. L. et al (2006).

Tabla 3.3 Tabla de ajustes de rodamientos de acuerdo con ISO.

	Símbolo ISO		Descripción	
	Con base en el orificio	Con base en el eje		
Ajustes con juego	H11 / c11	C11 / h11	Rotación libre holgado	Mas espacio libre
	H9/d9	D9/h9	Rotación libre sin restricciones	

	H8/f7	F8 /h7	Rotación libre estrecho	Mas interferencia
	H7/g6	G7/h6	Deslizante	
	H7/h6	H7/h6	Con juego de locación	
Ajustes inciertos	H7/K6	K7/h6	Inciertos de locación	
	H7/n6	N7/h6	Inciertos de locación	
Ajustes por interferencia	H7/p6	P7/h6	Por interferencia de locación	
	H7/s6	S7/h6	Forzado medio	
	H7/u6	U7/h6	Forzado	

Nota: Se muestra una tabla de ajustes en base al orificio y eje o flecha. Real Diez, Cesar (2020).

Metodología DMAIC

Es un proceso de cinco pasos para solución de problemas que puede ser usado para completar proyectos exitosamente e implementar soluciones para resolver problemas de calidad y procesos a través de la identificación de la causa raíz. Es una de las metodologías más usadas por Six sigma, pero también puede ser usada independientemente porque es un procedimiento muy general. Montgomery, D. C. (2019).

Paso Definir. ¿Qué es importante?

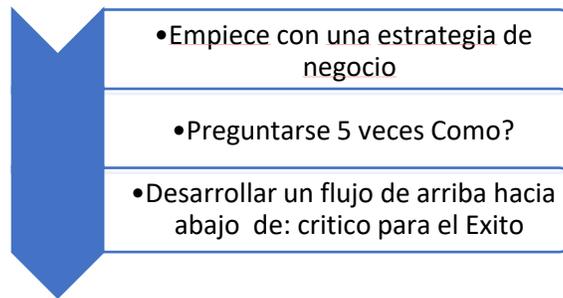
Cuando intentamos resolver un problema, esta es la primera pregunta que necesitamos responder. En este paso de identifica la oportunidad de resolver un problema o iniciar un proyecto y verificar que es válida para iniciarlo, siempre tomando en cuenta que es importante para la voz del cliente y para el negocio.

Objetivos del paso Definir

Uno de los objetivos más importantes de este paso será entonces definir la variable “Y” llamada también problema o defecto que la metodología resolverá, ya que el resto de la metodología se enfocará en las X’s. La variable “Y” puede identificarse a través de dos estrategias, SixSigma.us (2024)

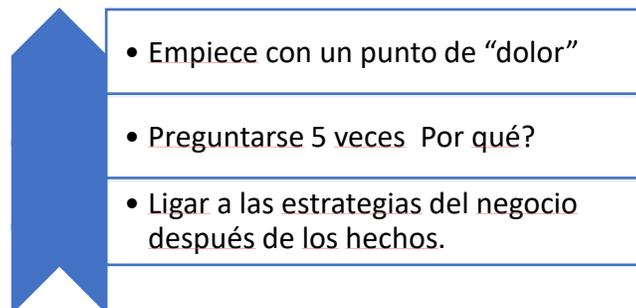
Estrategia de arriba hacia abajo (Top-Down): Inicia con una estrategia ya definida por el negocio y se desarrolla hacia abajo. (ver la Figura 3.4)

Figura 3.4 Estrategia Top – Down. SixSigma.us (2024)



Estrategia de abajo hacia arriba (Down-top): inicia con un punto de “dolor” que ya está presente en el proceso. (Ver figura 3.5)

Figura 3.5 Estrategia Down – Top. SixSigma.us (2024)



Entre otras herramientas que serán útiles para definir claramente esta variable “Y”, se encuentran los gráficos de Pareto y de Control Estadístico del proceso.

Los mapas de proceso, de flujo, de cadena de valor y el diagrama SIPOC (Proveedor – entrada-Proceso-Salida-Cliente), los cuales proveen el detalle visual y facilitan el entendimiento acerca de lo que necesita ser cambiado y/o mejorado.

Se deberá también completar una presentación de alto nivel donde se especifican los objetivos primarios y secundarios, el alcance del proyecto, las responsabilidades de cada integrante del equipo de solución del problema, el plan de acción con actividades asignadas y fechas tentativas para completarlas con la finalidad de garantizar la aprobación de las partes interesadas claves. Se debe tener claro que las salidas de este paso alimentaran directamente al siguiente.

Paso Medir. ¿Qué tan bien lo estamos haciendo?

La evaluación y entendimiento del estado actual del proceso es la meta de este paso. Esto implica la recolección de datos de medición de calidad y de producto, así como de tiempo de ciclo. Se deberá definir una lista completa de indicadores de entrada y salida claves que complementen los indicadores del paso de definir y de los cuales estaremos buscando obtener la mayor cantidad de datos:

Datos históricos, en ocasiones pueden ser incompletos o no disponibles por que la información que necesitamos no era recolectada.

Datos actuales, obtenidos a través de un estudio, un periodo continuo de tiempo o muestreo del flujo de datos importantes.

Debido a que los datos obtenidos servirán para establecer el punto inicial del proyecto (línea base), es necesario examinar la capacidad del sistema de medición a través de un estudio de capacidad del instrumento de medición llamado también Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad que se revisara a detalle en un capítulo más adelante.

En paso de la metodología, deberá también dividirse el ciclo del proceso bajo estudio en actividades que agregan y no agregan valor, con la finalidad de estimar el tiempo de ciclo del proceso y la eficiencia de este.

Los datos obtenidos, deberán ser desplegados en diagramas de dispersión, Pareto, corridas y hoja que ayuden a visualizar el comportamiento de los datos.

Al final de este paso, puede ser necesario reexaminar la presentación de alto nivel del paso anterior para incluir detalles importantes sobre las metas, objetivos e integrantes del equipo que necesiten ser incluidos y cuya contribución será de valor en los pasos siguientes de la metodología.

Las salidas esperadas de este paso son:

- ✓ Un mapa detallado de cadena de valor o de flujo.
- ✓ Lista de indicadores claves de entrada y salida y como se relacionan estos últimos con la satisfacción del cliente.
- ✓ Capacidad del sistema de medición
- ✓ Supuestos que se hicieran durante la recolección de datos.

Paso Analizar. ¿Que está mal?

A partir de los datos obtenidos, se determinan las relaciones de causa-efecto en el proceso para entender las diferentes fuentes de variabilidad y sus causas potenciales.

Las causas podrán dividirse en causas comunes (causas que son parte del sistema o proceso) y causas asignables (que surgen usualmente por factores externos al proceso).

Eliminar o reducir las causas comunes de un proceso o sistema derivara en cambiar ese proceso o sistema, mientras que para la causa asignable significara remover la fuente de ese problema específico.

Existen muchas herramientas usadas en el paso de analizar como:

Gráficos de Control Estadístico (SPC): usadas para separar causas comunes de asignables.

Prueba de hipótesis y de intervalo de confianza: usadas para comparar diferentes condiciones de proceso e identificar si se producen resultados estadísticos significativamente diferentes.

Análisis de regresión: usada para examinar las relaciones entre la variable "Y" y las variables de entrada X's.

Análisis de los modos y efectos de Falla (AMEF): son actividades estructuradas y sistematizadas que:

- Reconocen y evalúan las potenciales fallas de un producto o proceso.
- Estudia los efectos de estas fallas
- Identifica las acciones designadas para reducir la oportunidad de riesgo de que una falla ocurra. (Reducción del número de riesgo prioritario o RPN).
- Evaluar y priorizar los recursos para mejorar los esfuerzos de mejora del proceso que son de beneficio para el cliente.
-

Paso Mejorar. ¿Que se necesita hacer?

El equipo se enfoca en identificar evaluar y seleccionar las soluciones correctas para la mejora, usando herramientas como el rediseño del flujo del proceso, reducción de cuellos de botella, el uso de dispositivos que prevengan o eliminen los errores hasta el uso de diseño de experimentos que optimicen los parámetros del proceso.

El objetivo principal será desarrollar la solución integral del problema a resolver y confirmar las mejoras a través de una prueba piloto, que evalúa y documenta que la solución está relacionada con la meta del proyecto.

Su salida para el siguiente paso incluye:

Documentación adecuada de cómo ha sido obtenida la solución del problema.

Documentación alterna que necesite ser considerada

Resultados de la prueba piloto, gráficos, análisis, experimentos y simulaciones.

Plan para implementar los resultados a una escala base completa, entrenamientos, requerimientos regulatorios y otras prácticas estándar.

Análisis del riesgo de implementar las mejoras, y planes adecuados para abordar estos riesgos.

Paso Controlar. ¿Como garantizamos el desempeño futuro?

Además de completar el trabajo del paso anterior, este paso tiene como una finalidad garantizar el proceso mejorado al propietario, así como los controles agregados en un plan de control de proceso y procedimientos adicionales, esto para implementar las mejoras de forma sistemática en la empresa.

El plan de control deberá incluir gráficos estadísticos de control para el monitoreo de la solución del problema, así como auditorías periódicas con el fin de responder de manera rápida a fallas que puedan afectar el plan y asegurar que la solución continúa siendo válida.

Análisis del sistema de medición

La medición de alguna propiedad de una cosa en la práctica siempre toma la forma de una secuencia de pasos u operaciones que producen como resultado final un número que sirve para representar la cantidad de alguna propiedad particular de una cosa, un número que indica cuánto de esta cosa tiene, para que alguien lo use para un propósito específico. Eisenhart, C. (1968).

Las preguntas básicas al momento de obtener datos de un sistema de medición se refieren generalmente a si los datos obtenidos son fiables y si la decisión que tomaremos en función de ellos es correcta.

El análisis de los sistemas de medición se basa principalmente en despejar estas dudas y confirmar que el sistema de medición es capaz de proporcionar datos que nos ayudaran a tomar la mejor decisión.

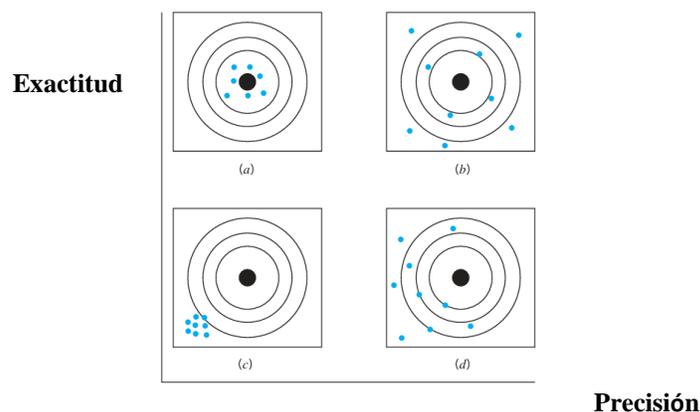
Conceptos y propiedades estadísticas de los datos

Las propiedades estadísticas de los datos de tipo variable se dividen en dos categorías:
Exactitud: Se refiere a la localización de los datos con respecto a un valor conocido como “maestro”, conocida también como la capacidad del instrumento para medir correctamente el valor real en promedio.

Precisión: Se refiere a la dispersión de los datos, es una medida de la variabilidad inherente en el sistema de medición. Montgomery

Debido a que los conceptos anteriores son comúnmente mal interpretados y para evitar esto se explican en función de ejemplos visuales para ayudar a su mejor comprensión:

Figura 3.6 Representación de Exactitud vs Precisión:



Nota: a) Exacto y preciso, b) Exacto, pero no preciso, c) No exacto, pero preciso, d) No exacto y no preciso. Montgomery, D. C. (2019)

La evaluación de la precisión de un medidor o sistema de medición a menudo requiere el uso de un patrón, para el cual se conoce el valor real de la característica medida. A menudo, la característica de precisión de un instrumento se puede modificar haciendo ajustes en el instrumento o mediante el uso de una curva de calibración construida correctamente. También es posible diseñar estudios de capacidad de sistemas de medición para investigar dos componentes del error de medición, comúnmente llamados la repetibilidad y la reproducibilidad del medidor.

Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad

Analizando la capacidad de los sistemas de medición a través de las dos R: repetibilidad (¿Obtenemos el mismo valor observado si medimos la misma unidad varias veces en condiciones idénticas?) y reproducibilidad (¿Cuánta diferencia en los valores observados experimentamos cuando las unidades se miden en diferentes condiciones, como diferentes operadores, períodos de tiempo, etc.)? y así sucesivamente. Montgomery, D. C. (2019), confirmamos si el sistema de medición es capaz de distinguir entre una pieza mala o buena.

Repetibilidad

Es la variación en las mediciones en un equipo de medición cuando es usado varias veces por un evaluador cuando mide la misma característica en una parte. La variación en sucesivos intentos (corto plazo) bajo condiciones fijas y definidas de medición. Comúnmente se refiere como Variación del equipo (EV o Equipment Variation). Es la capacidad del instrumento o potencial. Es la variación dentro del sistema. En general, definimos la repetibilidad como un reflejo de la precisión básica inherente del medidor en sí. AIAG 2010. Measurement System Analysis Manual (4th Edition)

Reproducibilidad

Es la variación en el promedio de las mediciones realizadas por diferentes evaluadores usando el mismo equipo de medición cuando se mide una característica en una parte, SPC consulting Group (s.f)

Para la calificación de procesos y productos, el error puede ser del evaluador, medio ambiente (tiempo) o método. Referida como la Variación del Evaluador (AV o Appraiser Variation), Entre variaciones del sistema (condiciones)

Definimos la reproducibilidad como la variabilidad debida a diferentes operadores que utilizan el medidor (o diferentes períodos de tiempo, o diferentes entornos, o en general, diferentes condiciones).

Método de Análisis de Varianza (ANOVA)

El Estudio de Repetibilidad y reproducibilidad puede entonces ser considerado como un diseño de experimento.

Para su análisis se utiliza el método ANOVA, que a partir del análisis de la varianza cuantifica la variación debida a la interacción entre los operadores y las partes, los principales factores de variación.

Estudios adicionales

El análisis se complementa con el estudio de otros aspectos importantes de la capacidad del sistema de medición que incluyen:

Bias: diferencia entre el valor observado y el valor referencia (MSA 4ta Edición)

Estabilidad: Cambio del bias sobre el tiempo, puede ser el resultado de los efectos del calentamiento, los factores ambientales, el rendimiento inconsistente del operador y el procedimiento operativo estándar inadecuado.

Linealidad: Cambio de bias a través del rango normal de operación. Un modelo de regresión es normalmente usado para representar este aspecto. Está relacionada con problemas de calibración y mantenimiento.

Materiales y métodos

La parte medular de cualquier proyecto es la planeación tanto de tiempo y de los recursos necesarios y dentro de estos últimos también deberemos considerar los métodos a utilizar para la recopilación y análisis de datos.

Los siguientes recursos se determinan como necesarios para desarrollar esta investigación con la finalidad de obtener datos, analizar información y definir los resultados para comprobación de las hipótesis establecidas, así como lograr los objetivos definidos.

Materiales

La siguiente tabla 4.1 se definen los recursos necesarios para esta investigación.

Tabla 4.1 Recursos a utilizar en la investigación.

Programas de recolección, análisis y presentación de datos.	Adobe Reader® Microsoft Excel® Microsoft Word® Microsoft Power point® Minitab® M Execution System (MES®)
Equipo de medición, de análisis y partes de estudio.	Computadora HP® Indicador digital Mitutoyo® Base de soporte de indicador digital Mesa de granito Vernier Mitutoyo® Piezas muestra para estudio / análisis.

Nota: tabla de generación propia.

Métodos

La metodología DMAIC es la considerada a usar en este proyecto, ya que la estructura de esta permite establecer los antecedentes, metas e hipótesis del problema.

Tipo de investigación

Esta investigación tiene dos tipos de alcance: el primero es descriptivo, porque se miden conceptos y se definen variables que ayudaran a estudiar el fenómeno o problema y sus componentes; y el segundo es correlacional, porque se explica la relación entre estas variables o conceptos. Hernández Sampieri et al (2014).

Referencias

- AIAG (2010). Manual de Análisis del Sistema de Medición (4ta Edición)
- AIAG (2006). Manual de Aprobación de Partes de Producción (PPAP 4ta Edición)
- Botero Arbeláez, M., Arbeláez Salazar, O., & Mendoza Vargas, J. A. (2007). ANOVA's method used to develop the study of repeatability and reproducibility inside of measure system.
- Eisenhart, C. (1968). Expression of the Uncertainties of Final Results: Clear statements of the uncertainties of reported values are needed for their critical evaluation. Science, 160(3833), 1201-1204.
- Espinosa Martínez, Laritza, & González Pérez, Ramón Ramiro. (2019). Relación Entre Las Tolerancias Dimensionales Y Geométricas En Los Procesos De Fabricación.
- Hernández Martínez, A. L. (2014), Automatización de un cuerpo de aceleración mediante un motor a pasos, Universidad Nacional Autónoma de México, <http://132.248.9.195/ptd2014/agosto/0718457/Index.html>

Jensen, Cecil, D. Helsel, Jasy y R. Short, Dennis (2006). Dibujo y diseño en ingeniería. México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana. 970-10-3967-X.

Keyence (2024), Fundamentos de GD&T, Aprenda a interpretar y medir, utilizando los últimos estándares de diseño. <https://www.keyence.com.mx/ss/products/measure-sys/gd-and-t/basic>

Madoerin, N. (2015). Bearing Endplay Verification: Oscillation Analysis.

McDonnell, A., Bos, E. A., & Semeyn, M. W. (2001). U.S. Patent No. 6,244,565. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Montgomery, D. C. (2019). Introduction to statistical quality control. John Wiley & Sons.

Mott, R. L., Pozo, V. G., Sánchez, S. S., Fernández, Á. H., & Sánchez, J. V. (2006). Diseño de elementos de máquinas.

Olmos, E. J. R. (2011). Ingeniero Industrial (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de la Mixteca).

Real Diez, Cesar (2020). Tipos de rodamientos introducción y selección de los ajustes para su montaje. Universidad Jesuita de Guadalajara. <https://youtu.be/sCmPgdl0zaU?si=Hkuf695slkKEtfi0>

Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la Investigación. México: Ed. McGraw Hill.

Shaeffler (2000), Throttle Valve Bearings, Automotive Product Information API 15.

SixSigma.us, (2024), Green Belt training Manual, <https://www.6sigma.us/>

SPC consulting group (s.f) Reproducibilidad / Reproducibility | SPC Consulting Group (spcgroup.com.mx)