



**ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE MEDIDA ¹
ASM**

Traducción libre : Ingeniero Orlando Cedeño Tamayo

I. GUIAS GENERALES PARA UN SISTEMA DE MEDIDA

1. INTRODUCCION

La información de las mediciones esta siendo usada más que nunca antes. Por ejemplo, la decisión para ajustar o no un proceso de manufactura es ahora comúnmente basada en los datos de las mediciones. Los datos de las mediciones, o alguna estadística calculada a partir de los mismos, se comparan con los límites estadísticos de control para el proceso, y si la comparación indica que el proceso esta por fuera de control estadístico, alguna clase de ajuste es realizado. De lo contrario, se permite que el proceso continúe normalmente.

Otra de las aplicaciones de la información de las mediciones es determinar las relaciones significativas que existen entre dos o más variables. Por ejemplo, se puede sospechar que una dimensión critica en una parte de un molde plástico este relacionado con la temperatura de la materia prima. Esta posible relación puede ser estudiada utilizando un procedimiento estadístico llamado regresión lineal para comparar las mediciones de la dimensión crítica con las mediciones de la temperatura de la materia prima.

Los estudios que exploran tales relaciones son ejemplos de lo que el Dr. W.E.Deming denominó **estudios analíticos**. En general, un estudio analítico adiciona conocimiento

¹Measurement Systems Analysis - MSA - Reference Manual - 1995, Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation.



CORPORACIÓN METROLOGÍA Y CALIDAD

www.cmcmetrologia.com

CMC

sobre el sistema de causas que afectan el proceso. Los estudios analíticos están entre los usos más importantes de las informaciones de las mediciones puesto que ellos permiten en última instancia un mejor entendimiento del proceso.

Los beneficios de utilizar procedimientos basados en la información de las mediciones están estrechamente relacionados con la calidad de los datos de las mediciones utilizados. Si la calidad de los datos es baja, el beneficio del procedimiento es proporcionalmente bajo. En igual forma, si la calidad de los datos es alta; también, el beneficio es potencialmente más alto.

Para asegurar que el beneficio derivado de la información de las mediciones es lo suficientemente alta, para garantizar el costo de obtenerla, debe concentrarse la atención en la calidad de los datos.

CALIDAD DE LOS DATOS DE MEDICION

La calidad de los datos de medición esta relacionada con las propiedades estadísticas de múltiples mediciones obtenidos de un sistema de medida bajo condiciones estables.

Por ejemplo, suponga que un sistema de medida, operando bajo condiciones estables, es utilizado para obtener una serie de mediciones de una cierta característica. Si las mediciones están todas “cerca” al valor de referencia para la característica, entonces se dice que la calidad de los datos es “alta”. En igual forma, si una, o todas las mediciones están “alejadas” del valor de referencia, entonces se dice que la calidad de los datos es “baja”.

Las propiedades estadísticas utilizadas con mayor frecuencia para caracterizar la calidad de los datos son desviación y varianza. La propiedad llamada desviación se refiere a la localización de los datos con respecto al valor de referencia, y la propiedad denominada varianza se refiere a la dispersión de los datos.



CORPORACIÓN METROLOGÍA Y CALIDAD

www.cmcmetrologia.com

CMC

Una de las razones más comunes para baja calidad en los datos es la demasiada variación entre los datos. Por ejemplo, un sistema de medida utilizado para medir el volumen del líquido en un tanque puede ser sensible a la temperatura ambiente del entorno donde se está utilizando. En ese caso, la variación de los datos puede ser causada por variaciones en el volumen o a cambios en la temperatura del ambiente. Esto dificulta más la interpretación de los datos; y en consecuencia, al sistema de medición menos deseable.

La más grande variación en un conjunto de mediciones está determinada por la interacción entre el sistema de medición y el medio ambiente circundante. Si la interacción genera demasiada variación, entonces la calidad de los datos puede ser tan baja que se convierte en información inútil. Por ejemplo, un sistema de medida con una gran cantidad de variación puede no ser apropiado para ser utilizado en el análisis de un proceso de manufactura puesto que las variaciones del sistema de medida pueden enmascarar la variación del proceso de manufactura.

La mayor parte del trabajo de la gerencia de un sistema de medición está dirigido al monitoreo y al control de las variaciones. Entre otras cosas, esto significa que el énfasis debe ser colocado en el aprendizaje de cómo interactúa el sistema de medición con el ambiente circundante de tal forma que solo se generen datos con calidad aceptable. (Por ejemplo, el cerramiento alrededor de una máquina de ensayos de fuerza - Nota de adaptación)

Mucha variación es indeseable. Sin embargo hay algunas excepciones importantes. Por ejemplo, si la variación es debida a pequeños cambios en las características que se están midiendo, entonces esto se considera usualmente deseable. Entre más sensible el sistema de medición a esa clase de cambios, más deseable será el sistema puesto que este será un sistema de medida más sensitivo. (Por ejemplo, las básculas de gran capacidad y alta exactitud - nota de adaptación)



CORPORACIÓN METROLOGÍA Y CALIDAD

www.cmcmetrologia.com

CMC

Si la calidad de los datos no es aceptable, esta debe ser mejorada. Esto se logra usualmente mejorando el sistema de medida, en vez de mejorar los datos por si mismos. (Por ejemplo, eliminando las corrientes de aire que puedan afectar el área de medición- nota de adaptación)

EL PROCESO DE MEDICION

En este documento, el término “medición” esta definido como “la asignación de números a objetos materiales para representar las relaciones entre ellos con respecto a propiedades particulares”. Esta definición fue dada por primera vez por C. Eisenhart (1963).

El proceso de asignar números esta definido como el proceso de medición, y los valores asignados están definidos como los valores de la medición.

De estas definiciones se desprende que un proceso de medición debe ser visto como un proceso de manufactura que produce números (datos) para sus salidas. Entender un sistema de medición en esta forma es útil porque permite coherencia conceptual, filosófica y herramientas que han demostrado su utilidad en el área del Control Estadístico de Proceso.

PROPOSITO

El propósito de este documento es presentar una reseña de las guías para seleccionar procedimientos para evaluar la calidad de un sistema de medición. Aunque las guías son lo suficientemente generales para ser utilizadas para cualquier sistema de medida, están orientadas primordialmente a los sistemas de medida utilizados en el mundo industrial. Este documento no pretende ser un compendio de análisis de todos los sistemas de medición. Esta esencialmente enfocado a los sistemas de medida donde las lecturas pueden ser repetidas en cada punto.



GLOSARIO DE TERMINOS

CALIBRE : Cualquier dispositivo utilizado para obtener mediciones; frecuentemente utilizado para referirse específicamente a los dispositivos utilizados en el nivel más bajo; incluye dispositivos pasa/ no pasa.

SISTEMA DE MEDICIÓN : La colección de operaciones, procedimientos, calibres y otro equipo, software y personal utilizado para asignar un número a la característica que se mide; el proceso completo utilizado para obtener mediciones.

2. PROPIEDADES ESTADÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE MEDIDA

Un Sistema de medición ideal produciría únicamente mediciones “correctas” cada vez que sea utilizado. Cada medición siempre coincidiría con un patrón de referencia (ver Demming, 1986, p. 281). Un sistema de medida que pueda producir mediciones como las mencionadas se diría que tiene propiedades estadísticas de cero varianza, cero dispersión y cero probabilidad de confundir cualquier producto que mida.

Desafortunadamente, sistemas de medida con esas propiedades estadísticas deseables rara vez existen, y por esto los gerentes de proceso tienen que utilizar sistemas de medida que tienen propiedades estadísticas menos deseables.

La calidad de un sistema de medición se determina usualmente únicamente por las propiedades estadísticas de los datos que produce. Otras propiedades, como los costos, facilidad de uso, etc., también son importantes puesto que contribuyen al funcionamiento global deseable de un sistema de medición. Pero son las propiedades estadísticas de los datos producidos los que determinan la calidad del sistema.

Debe ser entendido que las propiedades estadísticas que son las más importantes



CORPORACIÓN METROLOGÍA Y CALIDAD

www.cmcmetrologia.com

CMC

para un uso, no necesariamente serán las más importantes para otro uso. Por ejemplo, para algunos usos de una máquina de medición por coordenadas (MMC), las propiedades estadísticas más importantes son "desviación y varianza "pequeñas". Una MMC con estas propiedades generará mediciones que están "cerca" a los valores certificados de los patrones que son trazables a los Patrones Nacional de Metrología de Medición. Los datos obtenidos de esas máquinas pueden ser muy útiles para analizar un proceso de manufactura.

Sin embargo, sin importar que tan "pequeña" sea la desviación y la varianza, la misma MMC puede no ser conveniente, bajo ciertas condiciones generales, para hacer un trabajo aceptable para diferenciar entre un buen producto y uno defectuoso puesto que su tasa de clasificación es demasiado alta. Así, bajo esas condiciones generales, la máquina será simultáneamente aceptable para analizar el proceso de manufactura e inaceptable para realizar inspecciones de producto acabado.

La gerencia tiene la responsabilidad de identificar las propiedades estadísticas que sean las más importantes para el fin propuesto de los datos. La gerencia es también responsable de garantizar que esas propiedades se utilizan como la base para la selección de un sistema de medida. Para lograr esto, se requieren las definiciones operacionales de las propiedades estadísticas como también los métodos aceptables para medir.

Aunque cada sistema de medición puede ser requerido para tener diferentes propiedades estadísticas, existen ciertas propiedades que todos los sistemas de medición tienen. Estos incluyen :

- 1) Los sistemas de medición tienen que estar bajo control estadístico. Esto significa que la variación en el sistema de medida es debido únicamente a causas comunes y no a causas especiales. Esto puede referirse como estabilidad estadística y puede ser discutido más en detalle posteriormente.



CORPORACIÓN METROLOGÍA Y CALIDAD

www.cmcmetrologia.com

CMC

- 2) La variabilidad del sistema de medición debe ser pequeña en comparación con la variabilidad del proceso de manufactura. (Por ejemplo, se puede afirmar categóricamente que la incertidumbre de cada medición tiene que ser menor que la tolerancia del proceso en ese punto - nota de adaptación)
- 3) La variabilidad tiene que ser pequeña comparada con los límites especificados.
- 4) Los incrementos en la medición tienen que ser pequeños relativamente al menor entre la variabilidad del proceso o los límites de la especificación. Una regla común y práctica es que los incrementos no sean mayores que un décimo del menor entre la variabilidad del proceso y los límites especificados. (nota de adaptación : Se puede ir adivinando que por la cantidad de datos y sus cálculos asociados la automatización en la toma de los datos y su procesamiento brindará herramientas para la toma de decisiones en tiempo real. Por ejemplo, el control por ultrasonido del espesor de la tubería de plástico para regular la velocidad en las boquillas inyectoras determinan la calidad del producto puesto que el espesor define tanto el diámetro interno como el externo y en consecuencia las propiedades mecánicas de la tubería como la resistencia a la rotura, la rigidez, etc. Además la tubería plástica es un producto con Regulación Oficial en muchos mercados. No es difícil entender esto para una manguera plástica por la que fluye gas o una tubería rígida hidráulica que conduzca desechos tóxicos)
- 5) Las propiedades estadísticas de un sistema de medición pueden variar en el desarrollo de la medición de ítem que varían. En este caso, la mayor (peor) variación del sistema de medición tiene que ser pequeña relativa al mínimo ya sea de la variación del proceso o de los límites



especificados.

3. PATRONES

Una de las principales tareas de los Laboratorios Nacional de Metrología es transferir las mediciones de los patrones Nacional de Metrología es a los demás sistemas de medición. El proceso utilizado es denominado procedimiento de “calibración”, y su propósito es armonizar los otros sistemas de medición con las mediciones producidas. El proceso de transferencia usualmente involucra un sistema jerárquico de transferencias, donde cada nivel se soporta en su propio sistema de patrones.

En el nivel superior de la jerarquía se encuentra el patrón Nacional de Metrología. Las mediciones son transferidas desde el patrón Nacional de Metrología al siguiente nivel de patrones.

Para que el patrón sea legítimo, las mediciones tienen que transferirlas los Laboratorios NACIONALES DE METROLOGÍA o un laboratorio acreditado, utilizando procedimientos de calibración ACEPTADOS.

El patrón primario se puede crear para cualquier organización tal como una empresa, una institución académica o una entidad oficial, para el propósito que se requiera. Un patrón primario sirve como unión directa entre la organización que lo posee y el patrón Nacional de Metrología.

En algunos casos, un patrón primario puede ser utilizado rutinariamente para calibrar otros sistemas de medida. Sin embargo los patrones primarios son usualmente demasiado costosos y muy delicados (vulnerables) para soportar este uso continuo. A cambio de esto, las mediciones son transferidas desde el patrón primario a otro nivel de patrones llamados secundarios. Para que el patrón secundario sea trazable, la transferencia tiene que realizada utilizando un procedimiento de calibración apropiado.



CORPORACIÓN METROLOGÍA Y CALIDAD

www.cmcmetrologia.com

CMC

De los patrones secundarios se pueden transferir las mediciones a otro nivel de patrones llamados de trabajo. Los patrones de trabajo son frecuentemente utilizadas para calibrar los sistemas de medida encontrados en las líneas de producción. También pueden denominarse patrones de producción y generalmente son mantenidos por el personal de producción, más que por el área de metrología que es responsable de los otros dos niveles.

Las mediciones que pueden relacionarse con los laboratorios Nacional de Metrología es a través de procedimientos de calibración adecuados utilizados en conjunto con la jerarquía de patrones, se dice que son trazables a patrones Nacionales de Metrología. La definición de Trazabilidad del Vocabulario Internacional de términos básicos y generales en Metrología - VIM se puede consultar en el glosario de términos.

En general, entre más alejado este un patrón del patrón Nacional de Metrología, es más robusto a los cambios en su ambiente, haciéndolo más económico y fácil su mantenimiento. Sin embargo, estas ventajas se obtienen a costa de una exactitud más baja.

La organización que no posea su propia área de metrología puede optar por servicios externos de los “Laboratorios acreditados”.

USO DE PATRONES

En general, es difícil determinar la exactitud de un sistema de medida sin utilizar patrones trazables. Es particularmente difícil para sistemas de medición que realizan mediciones destructivas (tensión, compresión, etc. - nota de adaptación). Igualmente resulta difícil para muchos sistemas de medida no destructivos. Afortunadamente, **para algunos sistemas, la exactitud no es tan importante como la repetibilidad.** Pero para aquellos sistemas donde la exactitud es importante, el uso de patrones



CORPORACIÓN METROLOGÍA Y CALIDAD

www.cmcmetrologia.com

CMC

trazables es frecuentemente la única forma para garantizar verdaderamente que el sistema de medición es suficientemente exacto para el fin propuesto.

El uso de patrones trazables resulta especialmente útil para minimizar los conflictos que surgen algunas veces cuando existe falta de acuerdo entre las mediciones del productor y las del consumidor.

4. GUIAS GENERALES

El primer paso para evaluar un sistema de medida es verificar que se estén midiendo las variables correctas. Si se están las variables equivocadas, no debe interesar la exactitud del sistema de medición, esto solamente consumirá recursos sin proporcionar beneficios (es decir, solo interesan las variables de medición que afectan la calidad - nota de adaptación).

El siguiente paso es determinar las propiedades estadísticas que debe tener el sistema de medición para ser aceptable. Para lograr esta determinación, es importante conocer como se van a utilizar los datos; sin esta información, las propiedades estadísticas adecuadas no se pueden determinar, el sistema de medición tiene que ser evaluado para ver si realmente posee o no las propiedades.

La evaluación del sistema de medición usualmente se realiza en dos etapas, llamadas fase 1 y fase 2. En la fase 1, deseamos entender el proceso de medición y determinar si este satisface todos los requerimientos (es decir, una evaluación metrológica que inicia con un recorrido del proceso de producción, nota de adaptación). La prueba de la fase 1 tiene dos objetivos. El primero es determinar si el sistema de medición posee o no las propiedades estadísticas. Esta clase de prueba debe ser realizada antes de que el sistema de medición sea utilizado realmente en el proceso. Si la prueba indica que el sistema de medición posee las propiedades adecuadas, entonces el sistema se considera de calidad aceptable para su uso propuesto, y en consecuencia puede ser



CORPORACIÓN METROLOGÍA Y CALIDAD

www.cmcmetrologia.com

CMC

utilizado en planta. De otra manera, si el sistema de medición no posee las propiedades correctas, no podrá ser utilizado en el proceso. En general, se pueden requerir varias pruebas separadas para determinar si el sistema de medición es o no aceptable.

El segundo objetivo de prueba de la fase 1 consiste en descubrir que factores del medio ambiente tienen una influencia significativa sobre el sistema de medición. Por ejemplo, una prueba de la fase 1 puede incluir varios factores del medio ambiente en diferentes niveles, con temperatura ambiente como uno de los factores. Si la prueba de la fase 1 indica que la temperatura ambiente afecta significativamente la calidad de las mediciones, entonces se podrá elegir un sistema de medición que opere bajo ambiente de atmósfera controlada. De otra manera, si la prueba indica que la temperatura ambiente no tiene efectos distinguibles, entonces el sistema de medida puede ser utilizado en la planta sin ninguna preocupación.

El objetivo de la prueba de la fase 2 es verificar que el sistema de medición, una vez considerado aceptable, mantenga continuamente las propiedades estadísticas adecuadas. El estudio comúnmente llamado “**prueba R&R**” es una de las formas de las pruebas de la fase 2. La prueba de la fase 2 se desarrolla frecuentemente como parte rutinaria de un programa normal de calibración en planta, un programa de mantenimiento y un programa metrológico pero debe ser ejecutado en forma independiente de cualquiera de los anteriores. Las pruebas usualmente son realizadas en el proceso.

Los procedimientos de prueba deben estar completamente documentados. La documentación debe incluir :

- * Ejemplos
- * Especificaciones para seleccionar los ítem a ser medidos y las condiciones ambientales en las cuales se debe aplicar el procedimiento. Típicamente, estas



especificaciones deben estar en la forma de un diseño estadístico experimental.

- * Especificar como se deben obtener, registrar y analizar los datos.
- * Definiciones operacionales de los términos y conceptos claves.
- * Si el procedimiento hace referencia a patrones especiales, tal como los derivados del Laboratorio Nacional de Metrología, entonces la documentación de la prueba debe incluir instrucciones para el almacenar, mantener y utilizar estos patrones.

Los tiempos para la evaluación, las responsabilidades organizacionales para conducir las evaluaciones y la manera de como reaccionar a los resultados de la evaluación deben ser claramente delegados por la **Dirección de la empresa**.

5. SELECCION Y DESARROLLO DE LOS PROCEDIMIENTOS DE PRUEBA

Hay disponibles muchos procedimientos adecuados para evaluar sistemas de medición. La selección de cual procedimiento utilizar depende de múltiples factores, la mayoría de los cuales tienen que ser determinados sobre la base caso por caso para evaluar cada sistema de medición. En algunos casos, las pruebas preliminares pueden requerir determinar si el procedimiento es o no adecuado al sistema de medición particular. Esta prueba preliminar debe ser una parte integral de la prueba de la fase 1 discutida en la sección previa.

Las guías generales a considerar cuando se selecciona o se desarrolla un procedimiento de evaluación incluye :



- 1) ¿ Deben utilizarse en la prueba patrones, tales como los trazables al Laboratorio Nacional de Metrología ? En caso afirmativo, ¿Cuál es el nivel apropiado de los patrones ? Los patrones , frecuentemente son esenciales para evaluar la exactitud de un sistema de medida. Si los patrones no son utilizados, la variabilidad del sistema de medición puede seguir siendo evaluada, pero no será posible evaluar su exactitud con razonable credibilidad. La falta de credibilidad puede ser un problema, por ejemplo, si se intenta resolver una diferencia aparente entre los sistemas de medición del productor y del cliente.

- 2) Para las pruebas efectuadas en la fase 2, el uso de mediciones ocultas deben ser consideradas. Mediciones ocultas son mediciones obtenidas en el ambiente real de medición de un operador que no sabe que se esta desarrollando una evaluación del sistema de medición. Bien administradas, las pruebas basadas en mediciones ocultas usualmente no están contaminadas por el bien conocido “efecto espina”²

2

El “Efecto Espina” se refiere a los resultados de una serie de experimentos industriales realizados en una compañía eléctrica norteamericana (Hawthorne Works of Western Electric) entre noviembre de 1924 y agosto de 1932. En los experimentos, los investigadores modificaban sistemáticamente las condiciones de trabajo de cinco ensambladores y monitoreaban los resultados.

Al mejorar las condiciones , la producción se elevaba. Sin embargo, al degradar las condiciones, la producción seguía mejorando. Esto condujo a pensar que los trabajadores habiendo desarrollado una actitud más positiva hacia el trabajo solamente como un resultado de que ellos eran parte del estudio, más que como resultado de la variación de las condiciones de trabajo.

Para mayor información, consultar La Historia de los Experimentos Espina por Richard Gillespie, Universidad de Cambridge, Nueva York, 1991.



CORPORACIÓN METROLOGÍA Y CALIDAD

www.cmcmetrologia.com

CMC

- 3) El costo de la prueba
- 4) El tiempo requerido para la prueba
- 5) Cualquier término para el cual no se tenga una definición comúnmente aceptada debe ser definido operacionalmente. Ejemplos de estos términos incluyen exactitud, repetibilidad, reproducibilidad, etc.



- 6) ¿ Se van a comparar las mediciones del sistema de medición con mediciones realizadas por otro sistema de medición ? En caso afirmativo, debe considerar la utilización de procedimientos de prueba que se basen en el uso de patrones como los discutidos en el numeral 1) anterior. Si los patrones no son utilizados, debe ser todavía posible determinar si los dos sistemas de medición están funcionando bien. Sin embargo, si los sistemas no están trabajando bien conjuntamente; entonces no será posible, sin el uso de patrones, determinar cual sistema necesita mejorar.
- 7) ¿ Con qué frecuencia debe realizarse la prueba de la fase 2 ? Esta decisión debe fundamentarse en las propiedades estadísticas de los sistemas individuales de medición y las consecuencias para la planta, y los clientes del proceso de un proceso de manufactura que en efecto no es monitoreado debido a un sistema de medida funcionando inadecuadamente.

Adicionalmente a estas guías generales, otras pautas que son específicas para los sistemas de medición particulares bajo prueba pueden ser importantes. Encontrando las guías específicas que son importantes para un sistema de medición particular es uno de los objetivos de la prueba de la fase 1.

“Cualquier técnica puede ser útil si se entienden y se observan sus limitaciones”

La lógica de la evaluación
W. Edwards Deming
Manual de la investigación de la evaluación, Vol. 1.



II. PROCEDIMIENTOS PARA EVALUAR SISTEMAS DE MEDICION

1. INTRODUCCION

Los procedimientos presentados en este capítulo son ampliamente utilizados en toda la industria automotriz para evaluar sistemas de medición usados en el ambiente de la producción. Específicamente, el procedimiento evalúa las siguientes propiedades estadísticas : repetibilidad, reproducibilidad, desviación, estabilidad y linealidad.

En conjunto, los procedimientos son denominados “ Pruebas R&R” dado que frecuentemente son utilizados únicamente para evaluar las propiedades estadísticas de reproducibilidad y repetibilidad. En general, los procedimientos son fáciles de usar en un ambiente de producción y, aunque los procedimientos son estadísticos en su naturaleza, estos están presentados en una forma que permite su uso por personas no especialistas en estadística.

Debe notarse, sin embargo, por la forma en que las pruebas son realizadas, que los procedimientos pueden ser mejores para evaluar la capacidad óptima de los calibres y valores que para evaluar las propiedades estadísticas del sistema de medición completo, en el uso práctico del sistema. Esto puede suceder, por ejemplo, cuando se observan más cuidados de lo normal para obtener las mediciones de prueba que cuando el sistema de medición es utilizado durante la producción. Frecuentemente, esto no será un problema, pero si lo es, otros procedimientos deben ser utilizados, o deben ser realizadas modificaciones a los procedimientos presentados aquí.

En algunos casos, la única modificación requerida puede consistir en el uso de mediciones ocultas de los patrones de tal manera que el sistema de medición sea utilizado en la prueba exactamente como es usado durante la práctica normal. Los datos obtenidos en esta forma pueden luego ser analizados para evaluar la reproducibilidad y la repetibilidad del sistema de medición completo. En general, sin



CORPORACIÓN METROLOGÍA Y CALIDAD

www.cmcmetrologia.com

CMC

embargo, las modificaciones requeridas para evaluar el sistema de medición completo puede ser un poco complicado y debe ser realizado por alguien bien versado en la teoría y práctica de la estadística.

Los procedimientos presentados en esta sección cubren muchos, pero no todas, las situaciones encontradas en la práctica. Dado que los procedimientos se basan en las propiedades estadísticas de repetibilidad, reproducibilidad, desviación, estabilidad y linealidad, estos son candidatos legítimos para la mayoría de las pruebas realizadas en la fase 2 y parte de la pruebas realizadas en la fase 1. No obstante, estos no facilitan, en general, estudiar los efectos de otros factores, tal como la temperatura, las descargas, etc., sobre la variación del sistema de medida, otros procedimientos estadísticos pueden ser requeridos para complementar la prueba de la fase 1. Existen procedimientos estadísticos aceptables para la prueba de la fase 1 en la literatura estadística general.

RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

Se requiere orientar tres resultados fundamentales en la evaluación de un sistema de medida. Primero, ¿ El sistema de medición tiene una adecuada discriminación ? Segundo, ¿ El sistema de medición es estable en el tiempo ? Tercero, Las propiedades estadísticas son consistentes en el rango esperado y aceptables para análisis o control de proceso ?

Estas determinaciones son más significativas si se relacionan con la variación del proceso. La extensa práctica tradicional de reportar el error de medición únicamente como un porcentaje del rango de la tolerancia es inadecuado para los cambios del mercado del futuro, en el cual el énfasis será el mejoramiento continuo del proceso.

TIPOS DE VARIACION DEL SISTEMA DE MEDICION



CORPORACIÓN METROLOGÍA Y CALIDAD

www.cmcmetrologia.com

CMC

Regularmente se asume que las mediciones son exactas, y con frecuencia el análisis y las conclusiones están basadas en estas suposiciones. Un individuo puede fallar al observar una variación en el sistema de medición y afectar las mediciones individuales, y consecuentemente, las decisiones basadas en esos datos. El error de un sistema de medición puede clasificarse en cinco categorías, desviación, repetibilidad, reproducibilidad, estabilidad y linealidad.

Uno de los objetivos del estudio del sistema de medición es obtener información relativa a la cantidad y tipos de variaciones en la medición asociadas con el sistema de medición cuando este interactúa con su entorno. Esta información es valiosa, puesto que para el promedio del proceso de producción, es mucho más práctica para reconocer repetibilidad y desviación en la calibración para establecer límites razonables para estos, en vez de contar con calibres extremadamente exactos con alta repetibilidad. La aplicación de tal estudio proporciona lo siguiente :

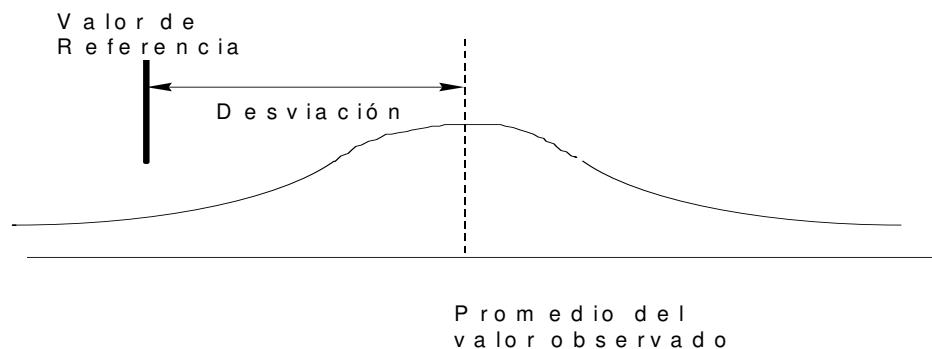
- 1) Criterio para aceptar nuevo equipo de medición.
- 2) Comparación de un dispositivo de medición con otro.
- 3) Una base para evaluar un calibre que presenta dudas en su comportamiento.
- 4) Comparación de los instrumentos de medida antes y después de reparación.
- 5) Un componente requerido para calcular variaciones del proceso, y el nivel de aceptabilidad para un proceso de producción.
- 6) Información necesaria para desarrollar una Curva de Funcionamiento de un calibre (CFC), la cual indica la probabilidad de aceptar una parte de algún valor verdadero.

Las siguientes definiciones ayudan para la descripción de los tipos de errores o



variaciones asociadas con un sistema de medida, de tal forma que cada término sea claramente entendido para las discusiones subsiguientes. Se tiene una ilustración para cada definición que gráficamente muestra el significado de cada término.

DESVIACION



Desviación es la diferencia entre el promedio **observado** de las mediciones y el valor de **referencia**. El valor de referencia, también conocido como el valor de referencia aceptado o el valor master, es un valor que sirve como un punto de referencia acordado para los valores medidos³. Un valor de referencia puede ser determinado

³ ASTM D 3980-88

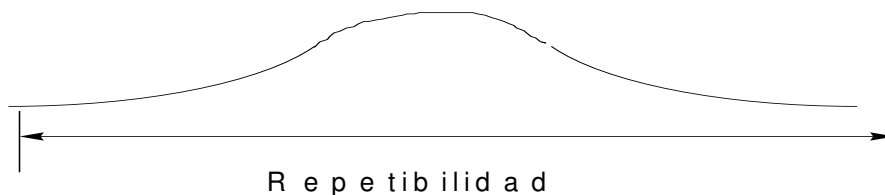


promediando varias mediciones con equipo de medida de alto nivel (por ejemplo, un laboratorio de metrología o equipo caracterizado).

La desviación es frecuentemente referida como “exactitud”. Dado que en la literatura existen múltiples significados para “exactitud”, no se recomienda su uso como un sinónimo para “desviación”.

REPETIBILIDAD

Repetibilidad es la variación en las mediciones obtenidas con **un instrumento de medición** cuando es utilizado varias veces por un observador mientras mide una característica idéntica sobre la **misma parte**.



REPRODUCIBILIDAD

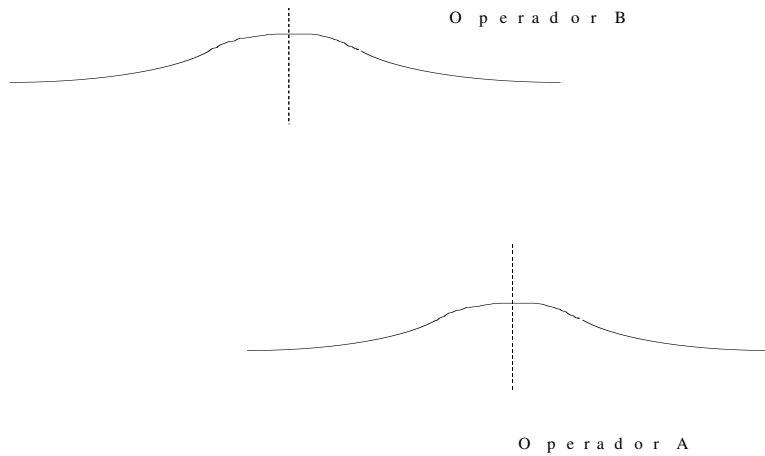
Reproducibilidad es la variación en el promedio de las mediciones realizadas por **diferentes observadores** utilizando **el mismo instrumento de medida** cuando se miden características idénticas de **la misma parte**



CORPORACIÓN METROLOGÍA Y CALIDAD

www.cmcmetrologia.com

CMC

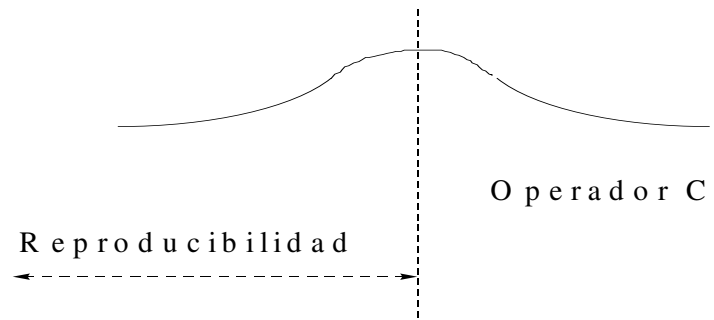




CORPORACIÓN METROLOGÍA Y CALIDAD

www.cmcmetrologia.com

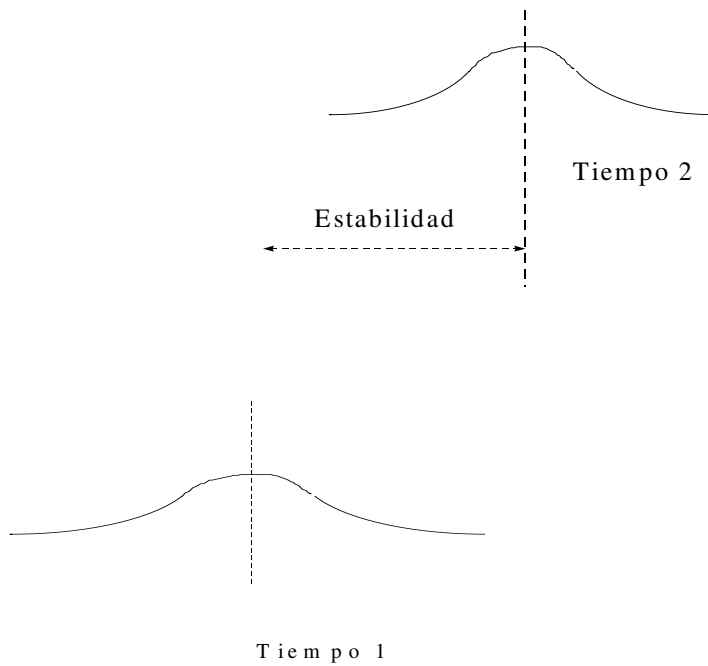
CMC





ESTABILIDAD

Estabilidad (o deriva - corrimiento) es la variación total obtenida en las mediciones con un sistema de medición del mismo master o partes cuando se mide una sola característica sobre un periodo extendido de **tiempo**.





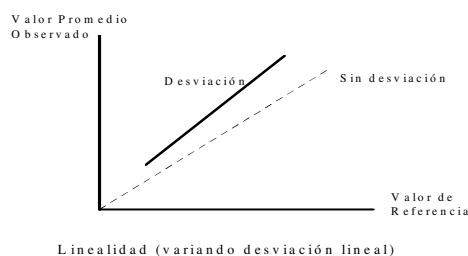
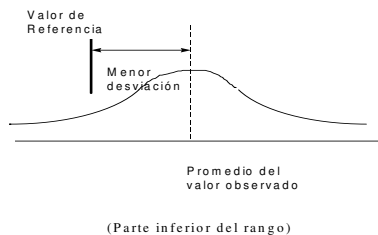
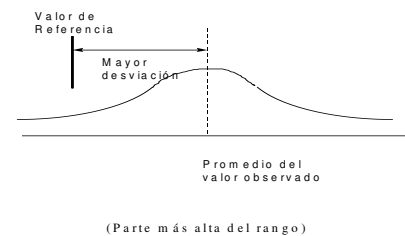
CORPORACIÓN METROLOGÍA Y CALIDAD

www.cmcmetrologia.com

CMC

LINEALIDAD

Linealidad es la diferencia entre los valores de desviación a través de los rangos operativos esperados del calibre.



TERMINOLOGIA⁴

⁴VIM - Vocabulario Internacional de términos generales y básicos en Metrología .



CALIBRACION

conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento o sistema de medición, o los valores representados por una medida materializada y los valores correspondientes de la magnitud, realizados por los patrones

Notas :

- 1 El resultado de una calibración permite atribuir a las indicaciones, los valores correspondientes del mensurando o determinar las correcciones que se deben aplicar a las indicaciones.
2. Una calibración puede también determinar otras propiedades metrológicas tales como los efectos de magnitudes de influencia.
- 3 El resultado de una calibración puede ser consignado en un documento, algunas veces llamado certificado de calibración o informe de calibración.

DERIVA

Variación lenta de una característica metrológica de un instrumento de medición

ISO/IEC/BIPM/OIML. Norma Técnica Colombiana 2194 “Vocabulario Metrológico”



ESTABILIDAD

aptitud de un instrumento de medición para mantener constante en el tiempo sus características metrológicas

Notas

- 1 En el caso de que la estabilidad se considere en función de otra magnitud diferente del tiempo, esta debe ser mencionada claramente.
- 2 La estabilidad puede ser cuantificada en varias formas, por ejemplo :
 - por el tiempo en el cual cambia una característica metrológica por una cantidad dada, o
 - el cambio de una característica en un tiempo determinado.

ERROR (de medición)

resultado de un mensurando menos un valor verdadero del mensurando

Notas

- 1 Puesto que un valor verdadero no puede ser determinado, en la práctica se utiliza un valor convencionalmente verdadero
2. Cuando es necesario distinguir “error” de “error relativo”, el primero es a veces llamado **error absoluto de medición**. Este no debe confundirse con **valor absoluto del error**, que es el módulo del error.

ERROR (de indicación) DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN



CORPORACIÓN METROLOGÍA Y CALIDAD

www.cmcmetrologia.com

CMC

indicación de un instrumento de medición menos un valor verdadero de la magnitud de entrada correspondiente

EXACTITUD DE MEDICION

proximidad de concordancia entre el resultado de una medición y un valor verdadero del mensurando

Notas

- 1 El concepto de exactitud es cualitativo.
- 2 El término **precisión** no debe ser utilizado por exactitud.

EXACTITUD (de un instrumento de medición)

aptitud de un instrumento de medición para dar respuestas próximas al valor verdadero

Nota : "exactitud" es un concepto cualitativo

CLASE DE EXACTITUD

Clase de instrumentos que satisfacen ciertos requisitos metrológicos destinados a mantener los errores dentro de ciertos límites especificados

Nota : Una clase de exactitud es usualmente indicada por un número o símbolo adoptado por convención y denominado **índice de clase**.



INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mensurando.

Notas:

- 1) El parámetro puede ser, por ejemplo, una desviación estándar (o un múltiplo dado de ella), o la mitad de un intervalo de un nivel de confianza determinado.
- 2) La incertidumbre de la medición comprende en general muchos componentes. Algunos de estos pueden ser evaluados a partir de la distribución estadística de los resultados de series de mediciones y pueden ser caracterizados por desviaciones estándar experimentales. Los otros componentes, que también pueden ser caracterizados por desviaciones estándar, son evaluados admitiendo distribuciones de probabilidad basadas en la experiencia u otra información.
- 3) Se entiende que el resultado de la medición es el mejor estimado del mensurando, y que todos los componentes de la incertidumbre, incluyendo aquellos que surgen de efectos sistemáticos, tales como componentes asociados a las correcciones y a los patrones de referencia, contribuyen a la dispersión.

MAGNITUD (medible)

atributo de un fenómeno, cuerpo o sustancia que puede ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente

** La longitud de onda de una luz monocromática es de 0,3 micrómetros, la de otra es*



CORPORACIÓN METROLOGÍA Y CALIDAD

www.cmcmetrologia.com

CMC

de 0,2 micrómetros, la longitud de onda de la primera es más grande que la de la segunda, entonces **la longitud de onda** es una magnitud.

Notas :

- 1 El término magnitud puede referirse a una magnitud en un sentido general o a una magnitud particular.

Ejemplos :

- a) magnitudes en un sentido general : longitud, tiempo, masa, temperatura, resistencia eléctrica, concentración de cantidad de sustancia;
 - b) magnitudes particulares :
 - longitud de una varilla
 - resistencia eléctrica de un espécimen determinado de alambre
 - concentración de cantidad de sustancia de etanol en una muestra de vino.
- 2 Las magnitudes que pueden ser clasificadas, las unas con relación a las otras, en orden creciente (o decreciente), son llamadas **magnitudes de la misma naturaleza**.
 - 3 Las magnitudes de la misma naturaleza pueden ser agrupadas en su conjunto en categorías de magnitudes, por ejemplo :

MENSURANDO

magnitud particular sujeta a medición

Ejemplo : presión de vapor de una muestra determinada de agua a 20 °C grados



Celsius.

Nota : La especificación de un mensurando puede requerir indicaciones acerca de magnitudes tales como tiempo, temperatura y presión.

PATRÓN (de medición)

medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o más valores de una magnitud para utilizarse como referencia

Ejemplos

- a) patrón de masa de 1 kg ;
- b) resistencia patrón de 100 ohmios ;
- c) amperímetro patrón ;
- d) patrón de frecuencia de cesio ;
- e) electrodo de referencia de hidrógeno ;
- f) solución de referencia de cortisol en serum humano de concentración certificada.

REPETIBILIDAD (de un instrumento de medición)

aptitud de un instrumento de medición para proporcionar indicaciones próximas entre sí por aplicaciones repetidas del mismo mensurando bajo las mismas condiciones de medición

Notas



- 1 Estas condiciones incluyen
 - reducción a un mínimo de las variaciones debidas al observador
 - el mismo procedimiento de medición
 - el mismo observador
 - el mismo equipo de medición, utilizado bajo las mismas condiciones
 - el mismo lugar
 - repetición en un periodo corto de tiempo

- 2 La repetibilidad puede expresarse cuantitativamente en términos de las características de dispersión de los resultados.

REPETIBILIDAD (de resultados de mediciones)

proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando realizadas bajo las mismas condiciones de medición

REPRODUCIBILIDAD (de resultados de mediciones)

proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones del mismo mensurando realizadas bajo condiciones variables de medición

Notas

- 1 Una expresión válida de reproducibilidad requiere que se especifiquen las condiciones que variaron.

- 2 Las condiciones que variaron pueden incluir :
 - principio de medición



CORPORACIÓN METROLOGÍA Y CALIDAD

www.cmcmetrologia.com

CMC

- método de medición
- observador
- instrumento de medición
- patrón de referencia
- lugar
- condiciones de uso
- tiempo

- 3 La repetibilidad puede ser expresada cuantitativamente en términos de las características de dispersión de los resultados
- 4 Los resultados aquí considerados son habitualmente los resultados corregidos.

TRAZABILIDAD

propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón por la cual pueda ser relacionado a referencias determinadas, generalmente patrones nacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas las incertidumbres determinadas

Notas

- 1 El concepto es a menudo expresado por el adjetivo trazable.
- 2 A la cadena ininterrumpida de comparaciones se le llama cadena de trazabilidad.

VALOR VERDADERO (de una magnitud)

valor consistente con la definición de una determinada magnitud particular



CORPORACIÓN METROLOGÍA Y CALIDAD

www.cmcmetrologia.com

CMC

Notas :

- 1 Este es un valor que se obtendría por una medición perfecta
- 2 Los valores verdaderos son por naturaleza indeterminados.
- 3 El artículo indefinido "un" más que el artículo definido "el" se utiliza en conjunción con el valor verdadero porque puede haber muchos valores consistentes con la definición de una magnitud particularmente dada.