

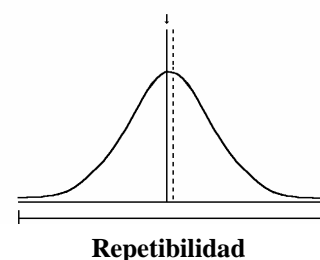
Aplicación Metrológica de los Estudios r&R (Repetibilidad y Reproducibilidad)

En esta *Guía MetAs* se hace una valoración de las diferentes técnicas para llevar a cabo los estudios de repetibilidad y reproducibilidad conocidos como estudios r&R. Lo cual esperamos nos permita tener un panorama general de los conceptos que en su cálculo se involucran, sus aplicaciones en la metrología, los diferentes métodos para evaluación, las diferentes técnicas de análisis, así como los criterios básicos para ponderar la información que arrojan los resultados. En caso de que requiera profundizar en los detalles del cálculo, les recomendamos que consulten la referencias utilizadas para el desarrollo de esta *Guía MetAs*.

Repetibilidad (de mediciones) (*r*)

De acuerdo con el VIM (Vocabulario Internacional de Metrología) la repetibilidad de resultados de mediciones es:

La proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando bajo las mismas condiciones de medición. Donde: (1) Estas condiciones son llamadas condiciones de repetibilidad. (2) Las condiciones de repetibilidad incluyen: el mismo procedimiento de medición, el mismo observador, el mismo instrumento de medición, utilizado bajo las mismas condiciones, el mismo lugar, repetición en un periodo corto de tiempo. (3) La repetibilidad puede ser expresada cuantitativamente en términos de la dispersión característica de los resultados.



Tradicionalmente en los estudios r&R se le conoce como la variabilidad interna a la condición.

Reproducibilidad (de mediciones) (*R*)

De acuerdo con el VIM la reproducibilidad de resultados de mediciones es:

La proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando bajo condiciones de medición que cambian. Donde: (1) Una declaración válida de reproducibilidad requiere que se especifique la condición

Somos su Relevo a la Calidad

La Guía MetAs, es el boletín periódico de MetAs & Metrólogos Asociados.

En *La Guía MetAs* se presentan noticias de la metrología, artículos e información técnica seleccionada por los colaboradores de MetAs & Metrólogos Asociados, que deseamos compartir con nuestros colegas, usuarios, clientes, amigos y con todos aquellos relacionados con la metrología técnica e industrial.

Calle: Jalisco # 313. Colonia: Centro
49 000, Cd. Guzmán, Zapotlán El Grande, Jalisco, México
Teléfono & Fax: 01 (341) 4 13 61 23 & 4 14 69 12 con tres líneas
E-mail: metas@metas.com.mx. Web: www.metas.com.mx

Servicios Metrológicos:

Laboratorios de Calibración:

Presión, Alto Vacío, Temperatura, Humedad, Eléctrica, Vibraciones

Ingeniería:

Selección de Instrumentos, Desarrollo de Sistemas de medición y software, Reparación-Mantenimiento

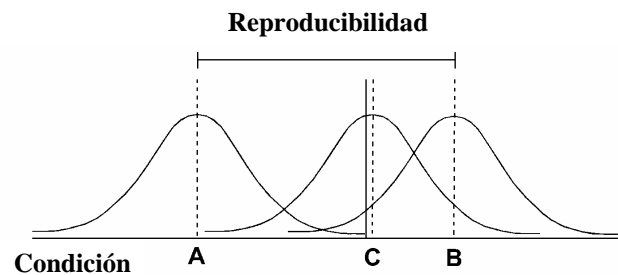
Gestión Metrológica:

Subcontratación de Servicios, Selección de Proveedores, Outsourcing

Consultoría:

Capacitación, Entrenamiento y Asesoría en Metrología y su Relación con Sistemas de Calidad

que cambia. (2) Las condiciones que cambian pueden incluir: principio de medición, método de medición, observador, instrumento de medición, patrón de referencia, lugar, condiciones de uso, tiempo. (3) La reproducibilidad puede ser expresada cuantitativamente en términos de la dispersión característica de los resultados. (4) Se entiende que los resultados usualmente son resultados corregidos.



Tradicionalmente en los estudios r&R se le conoce como la variabilidad entre las condiciones.

APLICACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE r&R

En metrología las aplicaciones de los estudios de repetibilidad y reproducibilidad encuentran aplicación en los procesos de evaluación, validación y análisis de las mediciones, estas aplicaciones son entre otras:

- ☒ Evaluación de ensayos de aptitud,
- ☒ Validación de métodos de calibración,
- ☒ Análisis de comparaciones inter-laboratorio,
- ☒ Evaluación de la incertidumbre de medición,
- ☒ Evaluación de cartas de control,
- ☒ Conocer la variabilidad de mediciones e instrumentos (GRR según MSA),
- ☒ Evaluación de la deriva (estabilidad) de instrumentos,

MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE r&R

Los métodos aceptables para la determinación de estudios de repetibilidad y reproducibilidad se basan en la evaluación estadística de las dispersiones de los resultados, ya sea en forma de rango estadístico (máximo - mínimo) o su representación como varianzas o desviaciones estándar, estos métodos son:

Rango,
Promedio y Rango,
ANOVA (análisis de varianza)

Rango

Este método permite una rápida aproximación a la variabilidad de las mediciones, no descompone la variabilidad en repetibilidad y reproducibilidad, su aplicación típica es como el método rápido para verificar si la relación r&R no ha cambiado.

MSA nos dice que es capaz de detectar sistemas de medición no aceptables el 80 % de las veces con una muestra de solo 5 mediciones y el 90 % de las veces con una muestra de apenas 10 mediciones.

Promedio y Rango

Este método permite una estimación tanto de repetibilidad como reproducibilidad, sin embargo, no permite conocer su interacción, esta interacción entre la repetibilidad y la reproducibilidad o entre el instrumento y el operador puede conocerse en caso de que exista con el método de ANOVA.

ANOVA (análisis de varianza)

Las ventajas de la técnica de ANOVA comparada con el método de *Promedio y Rango* son:

- Es posible manejar cualquier arreglo o estructura experimental,
- Es posible estimar las varianzas más exactamente,
- Se obtiene mayor información de los datos experimentales,
- Permite conocer la interacción entre la repetibilidad y la reproducibilidad.

r&R

ANOVA

Las desventajas son que su computación numérica es más compleja, desventaja que sin embargo puede ser resuelta mediante el uso de herramientas de análisis de datos, como las que proporciona el programa de hoja de cálculo de Microsoft Excel® o Lotus®, herramientas que se describen brevemente a continuación y que pueden ser accedidas en la sección *Herramientas - Análisis de Datos...* de su hoja de cálculo, una vez que han sido dadas de alta en la sección *Herramientas - Complementos...*:

- Análisis de varianza de un factor
- Varianza de dos factores con varias muestras por grupo
- Varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

El método de ANOVA viene desarrollado en la mayoría de los libros y referencias de estadística y análisis de datos, sin embargo aplicado a las mediciones encontraremos un mejor desarrollo de la misma en las normas: ASTM E 691, ISO 5725 sobre todo la parte 2 de un total de 6, en la Guía ISO para evaluación de incertidumbres también conocida como GUM y en MSA.

TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS DE ESTUDIOS r&R

Una vez que se han determinado los valores de repetibilidad y reproducibilidad es útil llevar a cabo un análisis de los resultados mediante las siguientes técnicas:

- ☒ Consistencia gráfica,
- ☒ Límites y valores numéricos,

Análisis Gráfico

El análisis gráfico se puede realizar mediante el uso de diferentes formatos de cartas y gráficas de los datos y resultados como son:

Carta de promedios, carta de rangos, carta de series (run), gráfica de dispersión (Scatter), carta Whiskers, carta de errores, histograma normalizado, gráfica X-Y de promedios y talla, comparación de gráficas X-Y.

Una evaluación gráfica adicional, es posible mediante el cálculo de las llamadas estadísticas h y k de Mandel, las cuales se describen ampliamente en ISO 5725-2 y ASTM E 691. El valor de h representa la consistencia estadística entre condiciones, mientras que k representa la consistencia estadística interna a las condiciones.

Análisis Numérico

El análisis numérico se realiza mediante el cálculo de las componentes individuales de repetibilidad y reproducibilidad.

La variabilidad interna (S_w) para cada una de las p condiciones se estima como la desviación estándar de las n mediciones de cada condición.

La repetibilidad (r) se obtiene como resultado del promedio de las p varianzas que estiman la variabilidad interna de cada condición, esta variabilidad interna promedio (S_r) es conocida como el ruido presente en el experimento,

$$r = \sqrt{[S_r^2]} = \sqrt{[\sum S_w^2]}$$

La reproducibilidad (R) o variabilidad entre las condiciones (S_L) se obtiene mediante la diferencia de la varianza (S_m^2) de los p promedios menos la varianza representativa del ruido del experimento (S_r^2) entre la cantidad de mediciones n de cada condición.

$$R = \sqrt{[S_L^2]} = \sqrt{[S_m^2 - S_r^2/n]}$$

Y, finalmente la combinación $r&R$ se obtiene como la raíz cuadrada de la suma de varianzas de repetibilidad (variabilidad interna promedio) y reproducibilidad (variabilidad entre condiciones).

$$r&R = \sqrt{[r^2 + R^2]} = \sqrt{[S_r^2 + S_L^2]}$$

Relación óptima

$$R < 10\% \cdot r$$

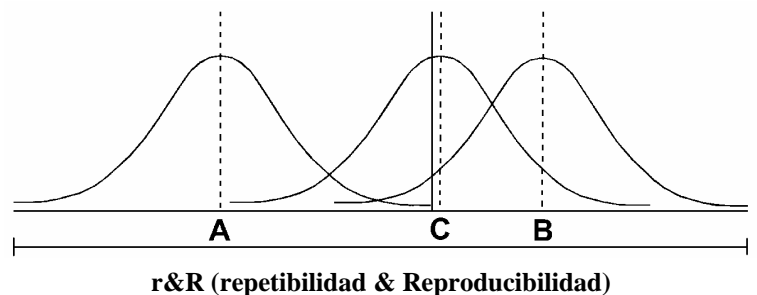
El análisis numérico se complementa con la comparación del valor obtenido de la reproducibilidad R con respecto al de la repetibilidad r :

Si la reproducibilidad está por debajo del 10 % de la repetibilidad ($R < 0,1 \cdot r$), generalmente se considera que la reproducibilidad es aceptable, y existe compatibilidad entre las diferentes condiciones que fueron evaluadas.

Si la reproducibilidad está entre el 10 % y el 30 % de la repetibilidad ($0,1 \cdot r < R < 0,3 \cdot r$), se considera que la reproducibilidad entre las diferentes condiciones puede ser aceptable en base a la importancia de la aplicación, costo del equipo de medición, costo del servicio de calibración o reparación, etc.

Si la reproducibilidad está por arriba del 30 % de la repetibilidad ($R > 0,3 \cdot r$), se deberá mejorar el sistema de medición (personal, equipo, métodos, condiciones).

Al analizar la información que arroja el estudio de r&R es posible evaluar las causas que originan la variación del sistema o del instrumento.



Por ejemplo, si la repetibilidad es grande comparada con la reproducibilidad las razones podrían ser:

- El instrumento necesita mantenimiento,
- El equipo requiere ser rediseñado para ser más rígido,
- El montaje o ubicación donde se efectúan las mediciones necesita ser mejorado,
- Existe una variabilidad excesiva entre las partes,

Si la reproducibilidad es grande comparada con la repetibilidad, entonces las causas podrían ser:

- El operador o metrólogo necesita mejor entrenamiento en cómo utilizar y cómo leer el instrumento,
- La indicación del instrumento no es clara,
- No se han mantenido condiciones de reproducibilidad (ambientales, montaje, fluidos, etc),
- El instrumento de medición presenta deriva.

Referencias

- Aranda, Víctor. (1999) Curso: Evaluación y expresión de incertidumbres con estudios r&R. MetAs, México.
- ASTM E 691 (1997). Interlaboratory data analysis software. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM E 691 (1999). Standard practice for conducting an interlaboratory study to determine the precision of a test method. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA, USA.
- Excel (2000). Herramientas - Análisis de datos - Funciones para análisis - Ayuda. Microsoft.
- ISO (1995) Guide to the expression of uncertainty in measurement. BIPM, IEC, ISO, OIML.
- ISO 5725-2 (1994) Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method. First edition 1994-12-15. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
- MSA (2002) Measurement systems analysis. Third edition March 2002, AIAG, Automotive Industry Action Group.
- SPC (1991) Statistical process control. Edition December 1991, AIAG, Automotive Industry Action Group.