

## CAPITULO 1 ESTUDIOS R&R

Los estudios R&R analizan la variación de las mediciones realizadas en un mismo gage de medición (repetibilidad) y la variación de las mediciones realizadas por el operador (reproducibilidad). Para reducir la variación actual del proceso, se debe de identificar y separar la variación debida al sistema de medición. Realizar estudios de la variación de las mediciones son pérdida de dinero y tiempo, a menos que éstos vayan encauzados a reducir la variación del proceso y mejorar el control del mismo.

Antes de continuar con los estudios R&R, es importante definir el término "gage", se refiere a cualquier instrumento para realizar mediciones.

Cada observación de un proceso forma parte de la variación del proceso y la variación de la medición (ver Figura 01). Las fuentes de variación en el caso de los sistemas de medición son:

- 1) El gage.
- 2) El operador.
- 3) La variación en el producto.

La variación de un gage puede ser atribuida a factores adicionales, como son:

- 1) Calibración.
- 2) Estabilidad.
- 3) Repetibilidad (Presencia de variación en el gage cuando es utilizado por un operador en intervalos de tiempo).

4) Linealidad (¿está el gage más aproximado a valores bajos que a valores altos?).

La variación en una pieza es una parte de la variación del proceso, que está mezclada con la variación de la medición.

Los estudios R&R involucran la reproducibilidad (variación del operador) y a la repetibilidad (variación del gage).

Repetibilidad: es la variación observada cuando el operador mide la misma pieza con el mismo gage varias veces.

Reproducibilidad: Es la variación adicional observada cuando varias operadoras utilizan el mismo gage para medir la misma muestra.

La combinación de ambas fuentes de variación están referidas a los estudios R&R (ver Figura 02).

La exclusión de otras fuentes potenciales en la variación de la medición no implica que la calibración, estabilidad ó linealidad son menos importantes, es sólo que dichas fuentes son ordinariamente menos significativas en su impacto, ya que antes de aplicar los estudios R&R es necesario calibrar al gage. Por esta razón los estudios R&R son usualmente estudiados y cuantificados primero. La repetibilidad y reproducibilidad son actualmente variables de salida claves en la salida del sistema de medición.

La planeación y ejecución de los estudios R&R evitará la confusión de las fuentes de variación como son la repetibilidad (gage) y la reproducibilidad (operador).

Mientras se desarrolla un estudio R&R no debe de ignorarse la variación del proceso. El cliente requiere la realización de los estudios R&R y un estudio de capacidad. La capacidad de un proceso incluye a la variación del proceso y la variación de la medición.

Consecuentemente los estudios R&R deben ir acompañados por evaluaciones en la calibración, variación dentro de la muestra y cualquier otra fuente de variabilidad.

La variación dentro de la muestra es difícil de excluir, ya que es extremadamente importante y debe ser tratada adecuadamente. No sólo tiene importancia para comprender los estudios R&R, además nos proporcionará información vital para la realización de las mejoras en la capacidad de un proceso.

**Figura 01**  
**Posibles fuentes de variación en un proceso**

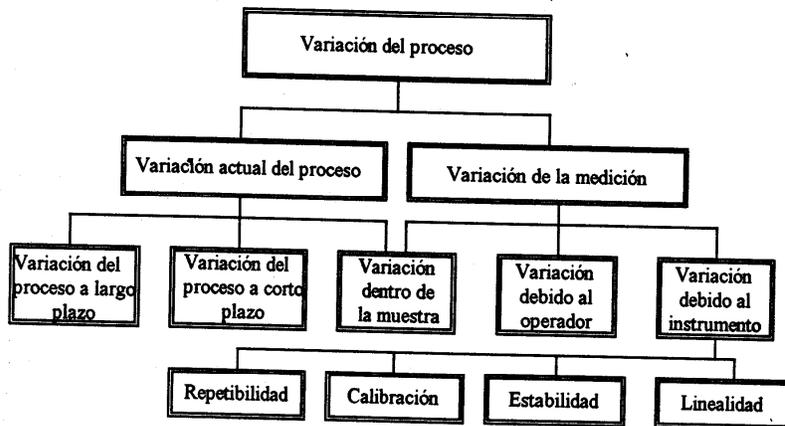
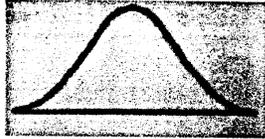


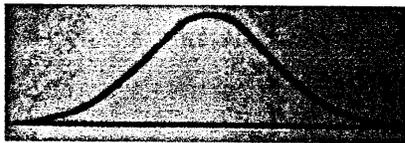
Figura 02

Repetibilidad, Reproducibilidad y R&R



**Repetibilidad:** distribución de repetición de mediciones en la misma parte por un operador utilizando el mismo gage.

+



**Reproducibilidad:** distribución de los promedios de mediciones por varios operadores utilizando el mismo gage.

=



**R&R:** Combinación entre la variación del gage y la variación entre los operadores.

El propósito de los estudios R&R es verificar que la variabilidad del sistema de medición sea insignificante con respecto a la variabilidad del producto que se mide, utilizando el sistema de medición.

La forma estándar de desarrollar un estudio R&R ha sido utilizar los procedimientos de la industria automotriz. El manual de análisis de sistemas de medición MSA(1995) describe este procedimiento y utiliza al menos dos operadores y diez muestras. Cada operador mide cada muestra al menos dos veces, utilizando todos el mismo método de medición. Cada repetición de mediciones realizadas por un operador es llamada prueba. Este procedimiento muestra la variabilidad en el método (repetibilidad), para ser separada de la variabilidad adicional contribuida por el operador (reproducibilidad).

En cualquier proceso de producción, ningún producto es exactamente igual a otro, siempre existirá variación entre sus características físicas, químicas ó funcionales.

La variabilidad entre los productos es un hecho inevitable, para lograr la calidad en los mismos, la clave está en minimizar tal variabilidad y en distinguir oportunamente lo que se considera una variación común de una especial.

La variación común del proceso se debe a factores tales como: variación en los componentes (dentro de las tolerancias que indique el fabricante), variación en las herramientas utilizadas (maquinarias), variación en el desempeño del operador, medio ambiente.

La variación especial del proceso se debe a factores que no están normalmente dentro de el mismo, tales como: material fuera de las especificaciones de el fabricante, uso de

herramienta inadecuada, set-up inadecuado de la maquina, falta de entrenamiento de la operadora en el desempeño de la operación, etc.

### **Procedimiento para desarrollar un estudio R&R.**

El procedimiento para un estudio R&R es:

- 1.- Calibrar el gage, o asegurarse que el gage ha sido calibrado, para ello es necesario determinar el sesgo de el aparato.
- 2.- Obtener la medición de la pieza con el primer operador, midiendo todas las muestras una vez en orden aleatorio.
- 3.- Obtener la medición con el segundo operador, midiendo todas las muestras una vez en orden aleatorio.
- 4.- Continuar hasta que todos los operadores hayan medido las muestras una vez.
- 5.- Repetir desde el paso #2 al paso #4 para el número requerido de repeticiones, asegurándose que los operadores no se enteren de los resultados obtenidos anteriormente.
- 6.- Utilizando el formato ó software equivalente, determinar los estadísticos del estudio R&R.
  - Repetibilidad: También llamada variación del equipo, está definida como un  $5.15\sigma$ , estimando la distribución que cubre el 99 por ciento de la variación de la medición debido a la variación de los gages.

- **Reproducibilidad:** También llamada variación del evaluador, ésta está definida como un  $5.15\sigma$ , estimando la dispersión que cubre el 99 por ciento de la variación de la medición debido a la variación del operador.
- **Repetibilidad y Reproducibilidad:** También llamado R&R, está definido como un  $5.15\sigma$ , estimando la dispersión que cubre el 99 por ciento de la variación debido a la combinación de estas dos fuentes.

7.- Analizar los resultados y desarrollar un plan de acción de ser necesario.

### **Planeación de un estudio R&R**

Al momento de aplicar los estudios R&R, la planeación es la fase más importante, y debe de realizarse antes de tomar cualquiera de las mediciones. En esta fase de planeación, las decisiones tomadas ó ignoradas determinarán la validez del estudio.

El plan se debe de hacer de la siguiente manera:

**1.- Tiempo y persona responsable de calibrar el gage:** Los errores de calibración son los más serios para validar o no un estudio. El gage deberá ser calibrado antes de que el estudio R&R se realice, y no se debe de volver a calibrar hasta que el estudio se concluya.

Si esto no es posible, la variación debida a la calibración podría aparecer en el estudio.

- Si es necesario volver a calibrar después de cada medición, se combinarán la repetibilidad y la variación de la calibración.
- Si cada operador debe de volver a calibrar antes de cada muestra, se combinarán la repetibilidad y la variación de la calibración.

- En algunas ocasiones al momento de turnar los operadores, se requiere que cada operador mida todas las muestras consecutivamente; el primer operador mide sus muestras al azar, inmediatamente mide las mismas muestras en otro orden, etc. En muchos casos, si cada operador calibra antes de empezar a medir, la variación de la calibración se combinará con la reproducibilidad.

**2.- Número de operadores a participar:** el número mínimo de operadores para realizar un estudio es de dos; para una mayor confianza en las estimaciones, la recomendación en el número de operadores a utilizar es de tres ó cuatro.

**3.- Número de muestras a medir:** si es posible, utilizar diez muestras, en todo caso seleccionar suficientes muestras de tal manera que el número de muestras multiplicado por el número de operadores sea mayor de 15.

**4.- Manera de seleccionar las muestras:** Es necesario separar una variable de medición en grupos homogéneos, donde la variabilidad debe de ser consistente e independiente de las diferencias entre las muestras.

**5.- ¿Cómo minimizar la variación en la muestra en un estudio R&R?** En algunos estudios en aparatos no es posible excluir la variación en las muestra realizando la medición en la repetibilidad; ejemplo: caso de pruebas destructivas, debe ser posible minimizar los efectos de la muestra seleccionando las piezas prueba de cada muestra.

**6.- ¿Utilizar mediciones individuales ó promedio?** Realizar la medición de la misma forma que se realiza el procedimiento en el proceso actual.

**7.- Forma de analizar los resultados:** Utilizando el formato de análisis incluido en anexos.

Esta información también puede ser procesada utilizando software, la ventaja de este método es que los cálculos pueden ser procesados automáticamente, lo más importante es que el software facilitará mantener esta información archivada.

**8.- ¿Puede incluir un estudio R&R más de un gage?** Normalmente cada aparato requiere de su propio estudio R&R. Algunos tipos de aparatos, como micrómetros tienen un número muy largo de unidades a ser evaluadas. Además es importante analizar la habilidad de cada operador en el uso de cada aparato de medición, en ocasiones la persona encargada de realizar la medición en un aparato no tendrá la misma habilidad al momento de utilizar otro tipo de aparato de medición.

### **Análisis de los resultados**

El análisis estimará la variación y el porcentaje de la variación para el sistema total de medición y sus componentes (repetibilidad y reproducibilidad). El análisis estimará la variación y el porcentaje de la variación del proceso del sistema de medición.

Existe un criterio de aceptabilidad en base a la tolerancia total de la especificación del cliente, que fluctúa entre un rango de tolerancia de 10 por ciento a un 30 por ciento. Con frecuencia este criterio es tomado en cuenta con severidad por el cliente.

Normalmente, un resultado de R&R del 10 por ciento ó menos es considerado como excelente; de 11 a 20 por ciento es considerado aceptable; de 21 a 30 por ciento puede ser considerado marginalmente aceptable; un 30 por ciento o más es considerado no aceptable.

Es importante considerar estos porcentajes de aceptación al momento de tomar una decisión en el desarrollo de un estudio R&R.

## Qué hacer si los resultados no son aceptables?

Si los resultados no son aceptables, por cualquier criterio, es necesario conocer la fuente ó fuentes de estos resultados. Cuestionarse si estos resultados no son aceptables debido principalmente a la repetibilidad (aparato), además cuestionarse si estos resultados no son aceptables debido a la reproducibilidad (operador), ó cuestionarse si es debido a una combinación de ambos factores. Conociendo las respuestas a estas preguntas, puede decidirse en algunos planes de acción a tomar:

1.- Los resultados pueden reflejar la falta de información por parte del aparato, ó por parte del operador, ó ambos factores pueden reflejar que hace falta información. Es importante definir el problema y desarrollar una acción correctiva para asegurar que el aparato y los operadores están desempeñándose lo mejor posible.

2.- Un mayor análisis en la fabricación del aparato puede dar lugar a la conclusión de que el aparato tiene los últimos adelantos y se desconoce la forma de mejorarlo.

3.- Si la mayor fuente de variación es la repetibilidad, una manera de mejorar la precisión es promediar más de una prueba para la medición a utilizar. Al promediar, se reduce la porción de repetibilidad de R&R en la raíz cuadrada del número de mediciones promediadas. Si se necesita tal precisión y no es posible realizar otras mejoras, realizar estas pruebas adicionales será la única manera para alcanzar tal precisión.

4.- Cuando el operador (reproducibilidad) es la mayor fuente de la variación, es necesario entrenar y estandarizar los procedimientos de medición.

5.- Es necesario preguntarse si el cliente necesita que las especificaciones sean tan rígidas.

6.- ¿Hubo alguna razón para sospechar alguna variación por calibración incorrecta ó variación dentro de la muestra?, si así fue, es necesario saber si los resultados no satisfactorios son el resultado de esos componentes. Es necesario diseñar estudios especiales para aislar esas causas.

7.- Si la capacidad del proceso es la adecuada ( $C_p > 1$ ) a pesar de la falta de precisión, el desarrollo inadecuado de R&R provoca grandes dificultades al proceso a medida que se realizan mejoras, esta condición no durará mucho tiempo, dado que un R&R reducido incrementa un  $C_p$  observado.

Si la capacidad del proceso está en el límite ( $0.9 \leq C_p \leq 1$ ) rechazar los resultados R&R puede hacer la diferencia en la afirmación de que el proceso fue reportado como capaz. Si la capacidad del proceso es claramente inadecuada ( $C_p \leq 0.9$ ) hay que dar prioridad a las mejoras y control del proceso. Las mejoras de R&R son necesarias, pero no son un problema inmediato.

### **Sesgo**

Sesgo es la diferencia entre el promedio observado de las mediciones y el valor verdadero (ver Figura 03). El valor verdadero puede ser estimado promediando varias mediciones con un instrumento de medición de mayor nivel. Al sesgo también se le llama exactitud.

Para eliminar ó corregir el sesgo se necesita calibrar el instrumento.

**Figura 03**  
**Representación de sesgo**

