
	<b>Manual Formato R&amp;R por variables MSA4</b> <b>VFCalibre</b>		
	Revisión: 0	Fecha: 06/10/2023	Hoja: <b>1 / 12</b>


## Tabla de contenido

<b>Historial de revisiones.....</b>	<b>2</b>
<b>Concepto .....</b>	<b>3</b>
<b>Objetivo .....</b>	<b>3</b>
<b>Requisitos previos.....</b>	<b>4</b>
<b>Diseño de la hoja .....</b>	<b>5</b>
Datos del estudio .....	5
Introducción de datos: medición y registro .....	7
<b>Cálculos numéricos .....</b>	<b>8</b>
<b>Análisis de resultados .....</b>	<b>9</b>
Repetibilidad – Variaciones de equipo (EV) .....	9
Reproducibilidad – Variación de Estimador (AV) .....	10
Repetibilidad & Reproducibilidad (R&R) .....	10
Variación por Partes (PV) .....	10
Variación total (TV) .....	10
Análisis por tolerancia.....	11
Número de categorías distintas ( <i>ndc</i> ) .....	11

	<b>Manual Formato R&amp;R por variables MSA4 VFCalibre</b>		
	Revisión: 0	Fecha: 06/10/2023	Hoja: <b>2 / 12</b>

## Historial de revisiones

Rev.	Autor / Fecha	Revisado / Fecha	Observaciones
0	Jordi Marín	Juan Rodríguez	Parte del manual de la versión 7.6.
	06/10/2023	21/12/2023	

	<b>Manual Formato R&amp;R por variables MSA4 VFCalibre</b>		
	Revisión: 0	Fecha: 06/10/2023	Hoja: 3 / 12

## Concepto

El estudio R & R, en adelante *GRR*, es una estimación de la variación combinada de repetibilidad (variación del equipo, mismo operador) y reproducibilidad (variación entre diferentes operadores). Dicho de otra manera, el GRR es la varianza igual a la suma de varianzas inherentes al sistema y varianzas entre sistemas.

$$\sigma_{GRR}^2 = \sigma_{reproducibilidad}^2 + \sigma_{repetibilidad}^2$$

## Objetivo

Todo proceso tiene variabilidad y los procesos de medición no son la excepción, por lo que se hace necesario evaluar dichos sistemas. Llevar a cabo esta evaluación significa tratar de asegurar y controlar la calidad de las mediciones. Con esto, se desea:

- Un criterio para aceptar un equipo de medición nuevo
- Aumentar la confianza de los clientes
- Asegurar la calidad del producto

Para avanzar en un programa de mejora de la calidad es necesario contar entre otras cosas con un sistema de medición fiable. Tradicionalmente los sistemas de medición venían evaluando características propias de los equipos, instrumentos o dispositivos como la exactitud, linealidad y estabilidad.

Actualmente se reconoce la necesidad de incluir en estas evaluaciones una fuente adicional a la variación causada por el operador y el método de medición. Es por ello que el objetivo del estudio va orientado para éste fin.

Nuestro formato R&R por variables utiliza el método de promedios y rangos, método matemático que determina la repetibilidad y reproducibilidad para un sistema de medición y que permite evaluar la confiabilidad del sistema de medición determinando cuanta de la confiabilidad es atribuible a la repetibilidad (equipo, método y condiciones de la medición) y cuanto es explicable por la variabilidad entre los operadores.


Finalmente, el estudio R&R nos informará si la variación del GRR es aceptable o no:

- Si el GRR está por debajo del 10 por ciento, es aceptable.
- Si el GRR está entre 10 y 30 por ciento, es aceptable con reservas.
- Si el GRR es mayor que el 30 por ciento, no es aceptable.

Además, el número de categorías distintas que pueden ser distinguidas por el sistema de forma fiable, *ndc* en adelante, deberá ser mayor o igual a 5.

Si el resultado del *ndc* es menor que 5 el programa dará el estudio como No Apto:

“Un *ndc* menor que 5 indica que hay poca variabilidad en el conjunto de datos. Debido a que este estudio tiene como objetivo discernir de donde viene esta variabilidad y si es aceptable, si no hay suficiente variación en los

	<b>Manual Formato R&amp;R por variables MSA4</b> <b>VFCalibre</b>		
	Revisión: 0	Fecha: 06/10/2023	Hoja: <b>4 / 12</b>


datos no es conveniente utilizar este método para afirmar la aptitud del equipo (esto no quiere decir que el equipo sea Apto o No Apto). En conclusión, el estudio no es válido y se da como Resultado global No Apto.”

## Requisitos previos

- El número de piezas debe ser mayor que 10 según el MSA4<sup>1</sup>.
- El número de operadores debe ser mayor o igual a 2.
- El número de mediciones o pruebas debe ser mayor o igual a 2.

---

<sup>1</sup> Aunque la hoja de datos está diseñada para un máximo de 10 piezas, este enfoque no está limitado a ese número. Como en cualquier técnica estadística, a mayor tamaño de muestra, menor variación por efecto del muestreo y menor riesgo en los resultados.

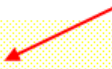
	<b>Manual Formato R&amp;R por variables MSA4</b> <b>VFCalibre</b>		
	Revisión: 0	Fecha: 06/10/2023	Hoja: 5 / 12

## Diseño de la hoja

<b>E estudio de repetibilidad y reproducibilidad</b>											<b>Nº</b>		
<i>Estudio R&amp;R por el método de la Media y el Rango:</i>													
Código:						Nº de serie:							
Fabricante:						Modelo:							
<b>Datos generales del estudio</b>													
Característica:						Cond. ambientales:			Temperatura: 20 ± 5 °C				
Especificación:									Humedad: 50 ± 5%				
<b>Operaciones previas al estudio</b>													
<input checked="" type="checkbox"/> El estado general del instrumento es correcto													
<b>Datos del estudio</b>													
Operario A:						Marcar el tipo de análisis del sistema de medida: <input checked="" type="radio"/> Control estadístico del proceso <input type="radio"/> Control de conformidad del producto							
Operario B:						Tolerancia total:							
Operario C:													
OPERARIO/ PRUEBA#		PIEZAS										MEDIA	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1. A 1													
2. 2													
3. 3													
4. Media													
5. Rango													
6. B 1													
7. 2													
8. 3													
9. Media													
10. Rango													
11. C 1													
12. 2													
13. 3													
14. Media													
15. Rango													
16. Media Pzas.												X = 0.00000	
Debe introducir 10 piezas por prueba y operario.											Rp = 0.0000		
17. $[ ] + [ ] + [ ] / (\# \text{ NUMERO DE OPERARIOS} - 0)$												#DIV/0!	
18. $[\text{Max } X = 0.00000] - [\text{Min } X = 0.00000] = X_{\text{dif}} = 0.00000$												0.00000	
#DIV/0!												#DIV/0!	
<small>           *D4 = 3.27 para dos pruebas y 2.58 para tres. UCLr representa el límite para las R's individuales.            Marque aquellos que están más allá de ese límite. Identifique las causas y corríjalas. Repita esas lecturas con el mismo operario y unidad como al principio o descarte los valores y vuelva a hacer el promedio, vuelva a estimar R y los valores límite para las observaciones restantes.         </small>													

## Datos del estudio

- Anotar los nombres de los operarios que realizarán las mediciones en el siguiente espacio

<b>Datos del estudio</b>	
Operario A: Operario B: Operario C:	<div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">             Marcar el tipo de análisis del sistema de medida:  <input checked="" type="radio"/> Control estadístico del proceso    <input type="radio"/> Control de conformidad del producto           </div> <div style="text-align: right;">Tolerancia total:</div>

- A continuación, debemos indicar si queremos analizar el sistema de medida para equipos que intervienen en el control estadístico del proceso, o equipos que se utilizan para evaluar la conformidad del producto (está dentro de tolerancias). Por defecto el tipo de análisis a realizar será el de “**Control estadístico del proceso**”. Si se desea basar el análisis en la tolerancia en vez de en la variación del proceso se deberá marcar el botón “**Control de conformidad del producto**”. Si es así, escribir también la tolerancia total en la siguiente casilla:

## Datos del estudio

Operario A:

Operario B:

Operario C:

Marcar el tipo de análisis del sistema de medida:

☒ Control estadístico del proceso

☐ Control de conformidad del producto

Tolerancia total:

- Las columnas corresponden a las 10 piezas que hay que medir.

OPERARIO/ PRUEBA#	PIEZAS										MEDIA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. A 1											
2. 2											
3. 3											
4. Media											
5. Rango											
6. B 1											
7. 2											
8. 3											
9. Media											
10. Rango											
11. C 1											
12. 2											
13. 3											
14. Media											
15. Rango											
16. Media Pzas.											X = 0,00000

- Las filas 1, 6 y 11 corresponden a la **primera** medición de las piezas del operador A, B y C respectivamente.

OPERARIO/ PRUEBA#	PIEZAS										MEDIA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. A 1											
2. 2											
3. 3											
4. Media											
5. Rango											
6. B 1											
7. 2											
8. 3											
9. Media											
10. Rango											
11. C 1											
12. 2											
13. 3											
14. Media											
15. Rango											
16. Media Pzas.											X = 0,00000

- Del mismo modo, las filas 2, 7 y 12 corresponden a la **segunda** medición de las piezas del operador A, B y C respectivamente; y las filas 3, 8 y 13 corresponden a la **tercera** medición de las piezas del operador A, B y C respectivamente.
- Las filas 4, 9 y 14 corresponden a la media de las mediciones de cada pieza, y del total en la última columna, del operador A, B y C respectivamente.
- Las filas 5, 10 y 15 corresponden al recorrido de las 3 mediciones de cada pieza, y del total en la última columna, del operador A, B y C respectivamente. Entendemos por recorrido la diferencia entre la medición mayor y la menor.
- La fila 16 contiene la media de las piezas y del total.
- Las filas 17 y 18 son cálculos y resultados para el análisis del estudio de R&R.

## Introducción de datos: medición y registro

Por lo general, cuando se efectúa la medición, los valores medidos se van registrando manualmente en una hoja de datos y luego se introducen en el programa informático. Para mediciones críticas es mejor que dos personas trabajen juntas, ya que una se dedica a medir y otra se especializa en registrar la medición. En este caso las notas se deben tomar como se indica en los siguientes párrafos.


Para el operador las indicaciones son las siguientes:

- Con pronunciación clara y correcta, dicte al personal de registro los valores medidos.
- Inmediatamente después de tomar el dato, asegúrese otra vez del valor medido para evitar una lectura errónea.
- Asegúrese que el personal de registro repita verbalmente el valor correcto en el momento de la lectura de datos.
- Efectúe las mediciones en las mismas condiciones cada vez.

Para el personal del registro las indicaciones son las siguientes:





	Manual Formato R&R por variables MSA4 VFCalibre		
	Revisión: 0	Fecha: 06/10/2023	Hoja: 9 / 12

## Análisis de resultados


A continuación, se analizarán todos los resultados que figuran en el siguiente gráfico:

Análisis de Mediciones Unitarias		% Variaciones Totales (TV)																					
<b>Repetibilidad - Variaciones de Equipo (EV)</b>  $EV = R * K_1$ $= 0,3417 * 0,5908$ $= 0,2019$		<table border="1"> <tr> <th>Pruebas</th> <th>K1</th> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0,8862</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0,5908</td> </tr> </table>	Pruebas	K1	2	0,8862	3	0,5908	$\%EV = 100 [EV/TV]$ $= 100 [0,2019 / 1,1461]$ $= 17,61\%$														
Pruebas	K1																						
2	0,8862																						
3	0,5908																						
<b>Reproducibilidad - Variación de Estimador (AV)</b>  $AV = \sqrt{\left[ \left( \frac{X_{dif} * K_2}{n} \right)^2 - (EV^2 / nr) \right]}$ $= 0,2297$		<table border="1"> <tr> <th>Operarios</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> <tr> <th>K2</th> <td>0,7071</td> <td>0,5231</td> </tr> </table>	Operarios	2	3	K2	0,7071	0,5231	$\%AV = 100 [AV/TV]$ $= 100 [0,2297 / 1,1461]$ $= 20,04\%$  n = Numero de Datos r = Numero de Pruebas														
Operarios	2	3																					
K2	0,7071	0,5231																					
<b>Repetibilidad &amp; Reproducibilidad (R &amp; R)</b>  $R\&R = \sqrt{(EV^2 + AV^2)}$ $= 0,3058$		<table border="1"> <tr> <th>Datos</th> <th>K3</th> </tr> <tr><td>2</td><td>0,7071</td></tr> <tr><td>3</td><td>0,5231</td></tr> <tr><td>4</td><td>0,4467</td></tr> <tr><td>5</td><td>0,403</td></tr> <tr><td>6</td><td>0,3742</td></tr> <tr><td>7</td><td>0,3534</td></tr> <tr><td>8</td><td>0,3375</td></tr> <tr><td>9</td><td>0,3249</td></tr> <tr><td>10</td><td>0,3146</td></tr> </table>	Datos	K3	2	0,7071	3	0,5231	4	0,4467	5	0,403	6	0,3742	7	0,3534	8	0,3375	9	0,3249	10	0,3146	$\% R\&R = 100[R\&R/TV]$ $= 100 [0,3058 / 1,1461]$ $= 26,68\%$
Datos	K3																						
2	0,7071																						
3	0,5231																						
4	0,4467																						
5	0,403																						
6	0,3742																						
7	0,3534																						
8	0,3375																						
9	0,3249																						
10	0,3146																						
<b>Variación por Partes (PV)</b>  $PV = R_p * K_3$ $= 1,1046$			$\%PV = 100 [PV/TV]$ $= 100 [1,1046 / 1,1461]$ $= 96,38\%$																				
<b>Variación Total (TV)</b>  $TV = \sqrt{(R\&R^2 + PV^2)}$ $= 1,1461$			$Ndc = 1,41(PV/R\&R)$ $= 1,41[1,1046/0,3058]$ $= 5,0937 \sim 5$																				
Para información sobre la teoría y las constantes utilizadas en el estudio véase Manual de referencia de MSA, Cuarta Edición																							
<b>Resultado del estudio</b>																							
Criterios para aceptar el estudio:  Estudio válido sólo si $Ndc \geq 5$		$R\&R < 10\%$ ----- APTO $10\% \leq R\&R \leq 30\%$ ----- APTO CON RESERVAS $R\&R > 30\%$ ----- NO APTO																					
Vistos los resultados obtenidos, el instrumento es:		<b>APTO CON RESERVAS</b>																					
Observaciones y/o actuaciones:																							
Estudio realizado por	Firma	Fecha del estudio																					
ADMIN		04/05/2021																					

## Repetibilidad – Variaciones de equipo (EV)

Es la variación de las mediciones obtenidas con un instrumento de medición cuando es utilizado varias veces por un operador cuando mide la misma pieza. (¿Existe variación en el instrumento?)

La repetibilidad o la variación del componente (EV o  $\sigma_E$ ) se determina multiplicando el recorrido medio ( $\bar{R}$ ) por una constante ( $K_1$ ).  $K_1$  depende del número de mediciones utilizadas en el estudio de calibración y es igual al inverso de  $d^*_2$  que se obtiene de la tabla  $d^*_2$  (anexo C del MSA 4).  $d^*_2$  depende del número de mediciones (m) y

	<b>Manual Formato R&amp;R por variables MSA4 VFCalibre</b>		
	Revisión: 0	Fecha: 06/10/2023	Hoja: 10 / 12

del número de piezas por el número de operadores ( $g$ ) (*supuesto que sea mayor a 15 para calcular el valor de  $K_1$* )

### Reproducibilidad – Variación de Estimador (AV)

Es la variación en el promedio de las mediciones hechas por diferentes evaluadores utilizando el mismo instrumento de medición al medir la misma pieza. (¿Existe variación en el operador?)

La reproducibilidad o la variación del operador (AV o  $\sigma_A$ ) se determina multiplicando la media máxima de la diferencia del operador ( $\bar{X}_{DIF}$ ) por una constante ( $K_2$ ).  $K_2$  depende del número de operadores que se emplean para la el estudio calibración y es el inverso a  $d_2^*$  que se encuentra en el anexo C del MSA 4.  $d_2^*$ , por su parte, depende del número de operadores ( $m$ ) y de  $g = 1$ , ya que sólo hay un cálculo de recorrido. Como la variación de operadores se ve contaminada por la variación del equipo, se deberá ajustar, restando una fracción de la variación del equipo. Por ello, la variación de operador (AV) se calcula de la siguiente forma:

$$AV = \sqrt{\left(\bar{X}_{DIF} \times K_2\right)^2 - \frac{(EV)^2}{nr}}$$

siendo  $n$  = número de piezas y  $r$  = número de mediciones

Si se ha calculado un valor negativo bajo el símbolo de la raíz cuadrada, la variación de operador (AV) se sitúa por defecto en cero.

### Repetibilidad & Reproducibilidad (R&R)

La variación del sistema de medición para la repetibilidad y la reproducibilidad (GRR o  $\sigma_M$ ) se calcula sumando el cuadrado de la variación del equipo y el cuadrado de la variación de operador y formando la siguiente raíz cuadrada.

$$R \& R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$$


### Variación por Partes (PV)

La variación por partes es la variación que existe entre las piezas, o sea, la variación de las propias muestras.

La variación entre piezas (PV o  $\sigma_P$ ) se determina multiplicando el recorrido de las medias de las piezas ( $R_P$ ) por una constante ( $K_3$ ).  $K_3$  depende del número de piezas que se utiliza para el estudio de calibración y es el inverso de  $d_2^*$  que se encuentra en la tabla  $d_2^*$ .  $d_2^*$ , por su parte, depende del número de piezas ( $m$ ) y ( $g$ ). En esta situación es  $g = 1$ , dado que sólo hay un cálculo de recorrido.

### Variación total (TV)

La variación total (TV o  $\sigma_T$ ) del estudio es el conjunto de todas las variaciones del proceso y se calcula sumando el cuadrado de la variación de la repetibilidad y de la reproducibilidad y de la variación entre las piezas (PV) y formando la raíz cuadrada de la siguiente manera:

	<b>Manual Formato R&amp;R por variables MSA4</b> <b>VFCalibre</b>		
	Revisión: 0	Fecha: 06/10/2023	Hoja: 11 / 12

$$TV = \sqrt{(GRR)^2 + (PV)^2}$$

Una vez que se ha determinado la variación para cada uno de los factores en el análisis de calibración, esta se puede comparar con la variación total (TV). Esto concluye realizando los cálculos de la parte derecha del informe de calibración en la columna “% **Variaciones Totales**”.

El porcentaje que la variación del equipo (% EV) supone de la variación total (TV) se calcula con  $100 [EV / TV]$ . El porcentaje que los demás factores suponen de la variación total se puede calcular de forma similar con las siguientes fórmulas:

$$\% AV = 100 [AV / TV]$$

$$\% GRR = 100 [GRR / TV]$$

$$\% PV = 100 [PV / TV]$$

#### Análisis por tolerancia

Si se ha seleccionado la casilla “**Control de conformidad del producto**”, el análisis se basará en la tolerancia en vez de la variación del proceso. En este caso % EV, % AV, % GRR y % PV se calculan sustituyendo la variación total (TV) por el valor de la tolerancia dividido entre 6 en el denominador de la fórmula.

Después de analizar la información que resulta del estudio de repetibilidad y reproducibilidad, es posible evaluar las causas que originan la variación del sistema o del instrumento:


- Si la repetibilidad es mayor a la reproducibilidad las posibles causas son: 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 y/o, existe una variabilidad excesiva entre las partes.
- Si la reproducibilidad es mayor que la repetibilidad, las causas pueden ser: El operador necesita mejor entrenamiento en cómo utilizar y como leer el instrumento, la indicación del instrumento no es clara, No se han mantenido condiciones de reproducibilidad (ambientales, montaje, ruidos, etc.) y/o el instrumento de medición presenta deriva.

#### Número de categorías distintas (ndc)

El número de categorías distintas que pueden ser distinguidas por el sistema de medición de forma fiable se calcula con la siguiente fórmula:

$$ndc = 1.41 \left( \frac{PV}{GRR} \right)$$

**NOTA:** El ndc debe ser mayor o igual a 5 para que se puedan considerar válidos los resultados obtenidos. La razón es que sería absurdo poder afirmar que existe demasiada variabilidad R&R en unos datos en que no hay casi variación en ellos mismos.

	<b>Manual Formato R&amp;R por variables MSA4 VFCalibre</b>		
	Revisión: 0	Fecha: 06/10/2023	Hoja: <b>12 / 12</b>

El número de categorías distintas puede ser interpretado como el número de grupos correspondiente a los datos del proceso que su sistema de medición puede distinguir.

Suponga que usted mide diez piezas y el estudio reporta que el número de categorías distintas es cuatro. Esto significa que el sistema de medición no tiene la capacidad de detectar diferencias entre algunas partes. Incrementar la precisión del equipo de medición incrementará el número de categorías distintas.

El Grupo de Acción para la Industria Automotriz (AIAG, por sus siglas en inglés) establece lo siguiente:

"Si el número de categorías de datos es menor a dos, el sistema de medición no le permitirá controlar el proceso. Cualquier variación en las mediciones se debe al ruido del sistema de medición y por ende usted no podrá distinguir diferencia alguna entre distintas partes. Si el número de categorías es dos, esto significa que los datos pueden ser divididos en dos grupos extremos, sin embargo, esto equivale a tener datos por atributo (por ejemplo, Pasa/No Pasa). El número de categorías debe ser preferentemente mayor o igual a 5, para determinar que el sistema de medición es aceptable para el análisis del proceso."