
	<b>Manual Formato RR Anova MSA4 VFCalibre</b>		
	Revisión: 0	Fecha: 22/12/2023	Hoja: <b>1 / 14</b>


## Tabla de contenido

<b>Tabla de contenido .....</b>	<b>1</b>
<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>4</b>
Datos del estudio .....	5
Introducción de datos: medición y registro .....	6
<b>Cálculos numéricos .....</b>	<b>8</b>
Método de cálculo .....	8
Conceptos Teóricos .....	8
Definición de la tabla ANOVA .....	8
Cálculos para el análisis de varianzas.....	9
Resultados del ANOVA .....	10
Consideraciones previas .....	10
Cálculos con interacción significativa .....	11
Cálculos sin interacción significativa.....	11
<b>Análisis de resultados .....</b>	<b>12</b>
Número de categorías distintas ( <i>ndc</i> ) .....	14

	<b>Manual Formato RR Anova MSA4 VFCalibre</b>		
	Revisión: 0	Fecha: 22/12/2023	Hoja: <b>2 / 14</b>

## Historial de revisiones

Rev.	Autor / Fecha	Revisado / Fecha	Observaciones
0	Jordi Marín	Juan Rodríguez	Versión inicial. Parte de la versión 7.6.
	22/12/2023	04/01/2024	

	Manual Formato RR Anova MSA4 VFCalibre		
	Revisión: 0	Fecha: 22/12/2023	Hoja: 3 / 14

## 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 por lo que el objetivo del estudio va orientado para este fin.


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 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.”

	<b>Manual Formato RR Anova MSA4 VFCalibre</b>		
	Revisión: 0	Fecha: 22/12/2023	Hoja: 4 / 14

## 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.

## Diseño de la hoja

Estudio de repetibilidad y reproducibilidad		Nº R & R Variables Anova-0006									
<b>Estudio R&amp;R por el método de ANOVA:</b>											
Código: R & R Variables Anova						Nº de serie:					
Fabricante:						Modelo:					
<b>Datos generales del estudio</b>											
Característica:						Cond. ambientales:					
Especificación:											
<b>Operaciones previas al estudio</b>											
<input type="checkbox"/> Estado general del instrumento es correcto											
<b>Datos del estudio</b>											
Operario A:						Marcar el tipo de análisis del sistema de medida:					
Operario B:						<input checked="" type="radio"/> Control estadístico del proceso <input type="radio"/> Control de conformidad del producto					
Operario C:						Tolerancia total:					
OPERARIO/ PRUEBA#	PIEZA \$										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 = 0,0000
Debe introducir 10 piezas por prueba y operario.											Rp = 0,0000
17. $\frac{[ ] + [ ] + [ ]}{\text{Nº OPERARIOS} = 0}$											#DIV/0!
18. $[\text{Max } X = 0,0000] - [\text{Min } X = 0,0000] = \text{X dif} = 0,0000$											0,0000
#DIV/0!											#DIV/0!
<p>*D4 = 3,27 para dos pruebas y 2,58 para tres. UCLr representa el límite para las R's individuales.</p> <p>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.</p>											

<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.



- 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.

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 Tolerancia total:									
Operario B:											
Operario C:											
OPERARIO/ PRUEBA#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MEDIA
1. A 1	0,2900	-0,5600	1,3400	0,4700	-0,8000	0,0200	0,5900	-0,3100	2,2600	-1,3600	0,1940
2. 2	0,4100	-0,6800	1,1700	0,5000	-0,9200	-0,1100	0,7500	-0,2000	1,9900	-1,2500	0,1660
3. 3	0,6400	-0,5800	1,2700	0,6400	-0,8400	-0,2100	0,6600	-0,1700	2,0100	-1,3100	0,2110
4. Media	0,4467	-0,6067	1,2600	0,5367	-0,8533	-0,1000	0,6667	-0,2267	2,0867	-1,3067	Xa = 0,19033
5. Rango	0,3500	0,1200	0,1700	0,1700	0,1200	0,2300	0,1600	0,1400	0,2700	0,1100	Ra = 0,1840
6. B 1	0,0800	-0,4700	1,1900	0,0100	-0,5600	-0,2000	0,4700	-0,6300	1,8000	-1,6800	0,0010
7. 2	0,2500	-1,2200	0,9400	1,0300	-1,2000	0,2200	0,5500	0,0800	2,1200	-1,6200	0,1150
8. 3	0,0700	-0,6800	1,3400	0,2000	-1,2800	0,0600	0,8300	-0,3400	2,1900	-1,5000	0,0890
9. Media	0,1333	-0,7900	1,1567	0,4133	-1,0133	0,0267	0,6167	-0,2967	2,0367	-1,6000	Xb = 0,06833
10. Rango	0,1800	0,7500	0,4000	1,0200	0,7200	0,4200	0,3600	0,7100	0,3900	0,1800	Rb = 0,5130
11. C 1	0,0400	-1,3800	0,8800	0,1400	-1,4600	-0,2900	0,0200	-0,4600	1,7700	-1,4900	-0,2230
12. 2	-0,1100	-1,1300	1,0900	0,2000	-1,0700	-0,6700	0,0100	-0,5600	1,4500	-1,7700	-0,2560
13. 3	-0,1500	-0,9600	0,6700	0,1100	-1,4500	-0,4900	0,2100	-0,4900	1,8700	-2,1600	-0,2840
14. Media	-0,0733	-1,1567	0,8800	0,1500	-1,3267	-0,4833	0,0800	-0,5033	1,6967	-1,8067	Xc = -0,25433
15. Rango	0,1900	0,4200	0,4200	0,0900	0,3900	0,3800	0,2000	0,1000	0,4200	0,6700	Rc = 0,3280
16. Media Pzas.	0,1689	-0,8511	1,0989	0,3667	-1,0644	-0,1856	0,4544	-0,3422	1,9400	-1,5711	X = 0,00144
Rp =											3,5111
17. [Ra = 0,1840] + [Rb = 0,5130] + [Rc = 0,3280] / [# NUMERO DE OPERARIOS = 3]											R = 0,3417
18. [Max X = 0,19033] - [Min X = -0,25433] = Xdif = 0,44467											0,44467
19. [R = 0,3417] * [D4* = 2,58] = UCLr = 0,8815											0,8815

## Cálculos numéricos

### Método de cálculo

A continuación, se explica el procedimiento de los cálculos basado en el apéndice A del manual de referencia MSA cuarta edición, páginas 195 y siguientes.

### Conceptos Teóricos

El Análisis de Varianzas (ANOVA) divide la fuente total de la variación en cuatro componentes: piezas (PV), operadores (AV), interacción de operadores y piezas (INT) y repetición de error debido al calibre/equipo (EV).

- DF: Grado de libertad asociado a la fuente de la causa de variación
- SS (Suma de cuadrados): Desviación alrededor de la media de la fuente
- MS (Cuadrados medios): Suma de cuadrados dividida por los grados de libertad
- F: Cuadrados medios de las componentes divididas por el cuadrado medio de la componente del equipo.
- EMS (Cuadrados medios esperados): combinación lineal de los componentes de varianza para cada MS.

### Definición de la tabla ANOVA

Siendo n = número de piezas, k = número de operadores y r = número de mediciones:

Fuente	DF	SS	MS	F	EMS
Operador	$k-1$	$SS_A$	$MS_A = \frac{SS_A}{(k-1)}$	$\frac{MS_A}{MS_{E^*}}$	$\tau^2 + r\gamma^2 + nr\omega^2$
Piezas	$n-1$	$SS_P$	$MS_P = \frac{SS_P}{(n-1)}$	$\frac{MS_P}{MS_{E^*}}$	$\tau^2 + r\gamma^2 + k\sigma^2$
Operador por pieza	$(n-1)(k-1)$	$SS_{AP}$	$MS_{AP} = \frac{SS_{AP}}{(n-1)(k-1)}$	$\frac{MS_{AP}}{MS_e}$	$\tau^2 + r\gamma^2$
Equipo	$nk(r-1)$	$SS_e$	$MS_e = \frac{SS_e}{nk(r-1)}$		$\tau^2$
Total	$nk r-1$	$TSS$			

En donde las estimaciones de la varianza de las componentes para cada fuente se representan por:

- $\tau^2$ : Estimación de la varianza para el equipo (EV)
- $\gamma^2$ : Estimación de la varianza para la interacción (INT)
- $\omega^2$ : Estimación de la varianza para el operador (AV)
- $\sigma^2$ : Estimación de la varianza para la pieza (PV)



### Cálculos para el análisis de varianzas

Siendo  $x_{...}^2 = \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^r x_{ijm} \right)^2$

$$SS_P = \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_{i..}^2}{kr} - \frac{x_{...}^2}{nkr} \right) \quad \text{donde } x_{i..}^2 = \left( \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^r x_{ijm} \right)^2 \quad \forall i = 1, \dots, n$$

$$SS_A = \sum_{j=1}^k \left( \frac{x_{.j.}^2}{nr} - \frac{x_{...}^2}{nkr} \right) \quad \text{donde } x_{.j.}^2 = \left( \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^r x_{ijm} \right)^2 \quad \forall j = 1, \dots, k$$

$$TSS = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^r \left( x_{ijm}^2 - \frac{x_{...}^2}{nkr} \right)$$

$$SS_{AP} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \frac{x_{ij.}^2}{r} - \sum_{i=1}^n \frac{x_{i..}^2}{kr} - \sum_{j=1}^k \frac{x_{.j.}^2}{nr} + \frac{x_{...}^2}{nkr}$$

$$SS_e = TSS - [SS_A + SS_P + SS_{AP}]$$

Los valores de F se comparan cada uno con la función de distribución F de Snedecor evaluada en el punto de probabilidad 0,05<sup>2</sup> y con los grados de libertad correspondientes a cada componente. Si estos valores son más pequeños que los de la distribución, entonces aceptamos que en dicha componente existe variabilidad.

---

<sup>2</sup>  $\alpha = 0,05$  corresponde al nivel de significancia de la comparación con la distribución F de Snedecor.

## Resultados del ANOVA

Las tablas del ANOVA previas a los resultados finales figuran en la página 2 del estudio:

Análisis de Varianzas (ANOVA)					k = 3	n = 10	r = 3
Fuente	DF	SS	MS	F	EMS		
Operador	k-1	$SS_A$	$MS_A = \frac{SS_A}{(k-1)}$	$\frac{MS_A}{MS_{AP}}$	$\tau^2 + r\gamma^2 + nr\omega^2$		
Piezas	n-1	$SS_P$	$MS_P = \frac{SS_P}{(n-1)}$	$\frac{MS_P}{MS_{AP}}$	$\tau^2 + r\gamma^2 + kr\omega^2$		
Operador por pieza	(n-1)(k-1)	$SS_{AP}$	$MS_{AP} = \frac{SS_{AP}}{(n-1)(k-1)}$	$\frac{MS_{AP}}{MS_e}$	$\tau^2 + r\gamma^2$		
Equipo	nk(r-1)	$SS_E$	$MS_e = \frac{SS_e}{nk(r-1)}$		$\tau^2$		
Total	nkr-1	TSS					

Fuente	DF	SS	MS	F
Operador	2	3,16726	1,58363	79,406 *
Piezas	9	88,3619	9,81799	492,291 *
Operador por pieza	18	0,35898	0,01994	0,43372
Equipo	60	2,75893	0,04598	
Total	89	94,6471		

\* significativo con  $\alpha=0,05$

Si la fuente del Operador por pieza no es significativa debemos quitarla del modelo.  
Esto requiere recalcular la tabla con las siguientes modificaciones:

Fuente	DF	SS	MS	F
Operador	k-1	$SS_A$	$MS_A = \frac{SS_A}{(k-1)}$	$\frac{MS_A}{MS_{E^*}}$
Piezas	n-1	$SS_P$	$MS_P = \frac{SS_P}{(n-1)}$	$\frac{MS_P}{MS_{E^*}}$
Equipo	$DF_{E^*} = DF_E + DF_{AP}$	$SS_{E^*} = SS_E + SS_{AP}$	$MS_{E^*} = \frac{SS_{E^*}}{DF_{E^*}}$	

Fuente	DF	SS	MS	F
Operador	2	3,16726	1,58363	39,6172 *
Piezas	9	88,3619	9,81799	245,614 *
Equipo	78	3,11792	0,03997	
Total	89	94,6471		

\* significativo con  $\alpha=0,05$

Si la fuente del Operador por pieza es significativa resultarán los mismos datos que en la tabla anterior

## Consideraciones previas

El objetivo de los estudios R&R es dar un resultado numérico de la variación que proviene de la Repetibilidad + Reproducibilidad (GRR) y de la relación entre esta variación (GRR) y la variación que sólo proviene de las propias muestras (PV). Por lo tanto, debe existir variabilidad en cuanto a repetibilidad (variación del equipo) y reproducibilidad (variación del operador).

En cambio, puede ser que la interacción de pieza y operador sea o no significativa. Será significativa cuando el valor de F de la interacción del Operador por pieza sea mayor que la F de Snedecor.

	Manual Formato RR Anova MSA4 VFCalibre		
	Revisión: 0	Fecha: 22/12/2023	Hoja: 11 / 14

### Cálculos con interacción significativa

$$\tau^2 = MS_e \quad EV = 6\sqrt{MS_e}$$

$$\omega^2 = \frac{MS_A - MS_{AP}}{nr} \quad AV = 6\sqrt{\frac{MS_A - MS_{AP}}{nr}}$$

$$\gamma^2 = \frac{MS_{AP} - MS_e}{r} \quad INT = 6\sqrt{\frac{MS_{AP} - MS_e}{r}}$$

$$\sigma^2 = \frac{MS_P - MS_{AP}}{kr} \quad PV = 6\sqrt{\frac{MS_P - MS_{AP}}{kr}}$$

$$GRR = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2 + (INT)^2}$$

$$\text{Variación Total } TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$$

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.

$$\% \text{ de variación total} = 100\left(\frac{6\sigma_{\text{componentes}}}{6\sigma_{\text{total}}}\right) \text{ ó } 100\left(\frac{6\sigma_{\text{componentes}}}{T}\right)$$

$$\% \text{ de contribución a la varianza total} = 100\left(\frac{6\sigma_{\text{componentes}}^2}{6\sigma_{\text{total}}^2}\right) \text{ ó } 100\left(\frac{6\sigma_{\text{componentes}}^2}{T}\right)$$

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

### Cálculos sin interacción significativa

Si la interacción de pieza y operador no es significativa se tomará el cálculo de  $SS_E$  y  $MS_E$  como el siguiente:

$$SS_E + SS_{AP} = SS_{E^*}$$

$$DF_E + DF_{AP} = DF_{E^*}$$

$$MS_{E^*} = \frac{SS_{E^*}}{DF_{E^*}}$$

A continuación, se utilizan estos nuevos cálculos pero sin poner el \*

$$\tau^2 = MS_e \quad EV = 6\sqrt{MS_e}$$

$$\omega^2 = \frac{MS_A - MS_{AP}}{nr} \quad AV = 6\sqrt{\frac{MS_A - MS_e}{nr}}$$

$$\gamma^2 = 0 \quad INT = 0$$

$$\sigma^2 = \frac{MS_P - MS_{AP}}{kr} \quad PV = 6\sqrt{\frac{MS_P - MS_e}{kr}}$$

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

$$\text{Variación Total } TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$$

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.

$$\% \text{ de variación total} = 100\left(\frac{6\sigma_{\text{componentes}}}{6\sigma_{\text{total}}}\right) \text{ ó } 100\left(\frac{6\sigma_{\text{componentes}}}{T}\right)$$

$$\% \text{ de contribución a la varianza total} = 100\left(\frac{6\sigma_{\text{componentes}}^2}{6\sigma_{\text{total}}^2}\right) \text{ ó } 100\left(\frac{6\sigma_{\text{componentes}}^2}{T}\right)$$

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

## Análisis de resultados

Los resultados del estudio son los siguientes:

Estudio de repetibilidad y reproducibilidad			Nº R & R Variables Anova-0001			
Estudio R&R por el método de ANOVA:						
Código:	R & R Variables Anova			Nº de serie:		
Fabricante:				Modelo:		
Resultados del Análisis de Varianzas (ANOVA)						
Estimación de varianza	Desviación Estándar	$(\sigma)$	$6(\sigma)$	% Variación total	% contribución	
$\tau^2(\text{equipo}) =$	0,0399733	0,1999332	EV=	1,1995991	18,42	3,39
$\omega^2(\text{operador}) =$	0,0514553	0,2268375	AV=	1,3610251	20,90	4,37
$\gamma^2(\text{interacción}) =$	0,0000000	0,0000000	INT=	0,0000000	0,00	0,00
$\tau^2 + \omega^2 + \gamma^2(\text{R\&R}) =$	0,0914285	0,3023715	R&R=	1,8142291	27,86	7,76
$\sigma^2(\text{pieza}) =$	1,0864466	1,0423275	PV=	6,2539650	96,04	92,24
Variación total	1,1778751	1,0852996	TV=	6,5117974	100,00	

Ndc = 1,41(PV/GRR) = 4 El Ndc es inferior a 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:	R&R < 10%	----- APTO
	10% ≤ R&R ≤ 30%	----- APTO CON RESERVAS
Estudio válido sólo si Ndc ≥ 5	R&R > 30%	----- NO APTO
Vistos los resultados obtenidos, el instrumento es: <b>No APTO</b>		
Observaciones y/o actuaciones:		
Estudio realizado por	Firma	Fecha del estudio
ADMIN		27/11/2012


El resultado del estudio será NO APTO si se cumple una de las siguientes condiciones:

- El estado general del instrumento no es correcto
- El Ndc es menor que 5
- Se producen errores de cálculo en el GRR debido a divisiones por cero (suele suceder cuando los datos son iguales o no hay variabilidad)

Si no se cumple ninguna de las condiciones anteriores, el criterio es el siguiente:

Criterios para aceptar el estudio:	R&R < 10%	----- APTO
	10% ≤ R&R ≤ 30%	----- APTO CON RESERVAS
Estudio válido sólo si Ndc ≥ 5	R&R > 30%	----- NO APTO

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:

	Manual Formato RR Anova MSA4 VFCalibre		
	Revisión: 0	Fecha: 22/12/2023	Hoja: 14 / 14

- 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.

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."