

# 1

## Estudios del sistema de medición para datos continuos

### Objetivos

- Determinar qué tan adecuados son los sistemas de medición.
- Entender la diferencia entre los estudios R&R del sistema de medición cruzado y anidado.
- Calcular estadísticas para evaluar la linealidad y sesgo de un sistema de medición.

### En este capítulo

Ejemplos y ejercicios	Propósito	Página
<b>Evaluación de la variación del sistema de medición</b>		
Ejemplo 1: Diámetros de boquillas de inyectores de combustible	Evaluar cómo afecta la precisión de un sistema de medición la variabilidad de una medición utilizando un estudio R&R del sistema de medición cruzado.	3

<b>Ejemplos y ejercicios</b>	<b>Propósito</b>	<b>Página</b>
Ejemplo 2: Grosor de tubos de silenciadores	Diseñar un estudio R&R del sistema de medición para identificar problemas en un sistema de medición utilizando un análisis R&R del sistema de medición cruzado.	24
Ejercicio A: Evaluación de consistencia en lecturas de color	Identificar problemas en un sistema de medición utilizando un estudio R&R del sistema de medición.	37
Ejercicio B: Resistencia a la rotura del papel	Determinar la adecuación de un sistema de medición con mediciones obtenidas de una prueba destructiva utilizando un estudio R&R del sistema de medición cruzado.	38
<b>Estudio R&amp;R del sistema de medición anidado (pruebas destructivas con lotes pequeños)</b>		
Ejemplo 3: Pruebas de impacto del acero inoxidable	Determinar la adecuación de un sistema de medición con mediciones obtenidas de una prueba destructiva utilizando un estudio R&R del sistema de medición anidado.	39
Ejercicio C: Mejora del sistema de medición	Determinar la adecuación de un sistema de medición con mediciones obtenidas de una prueba destructiva utilizando un estudio R&R del sistema de medición anidado.	50
<b>Estudio de linealidad y sesgo del sistema de medición</b>		
Ejemplo 4: Planicidad de mosaicos para piso	Determinar la linealidad y sesgo de un sistema de medición utilizando un estudio de linealidad y sesgo del sistema de medición.	51

# Evaluación de la variación del sistema de medición

## Ejemplo 1: Diámetros de boquillas de inyectores de combustible

### Problema

Un fabricante de boquillas de inyectores de combustible instala un nuevo sistema de medición digital. Los investigadores desean determinar qué tan bien mide las boquillas el nuevo sistema.

### Recolección de datos

De entre las principales fuentes de variación del proceso (máquina, tiempo, turno, cambio de trabajo), los técnicos toman una muestra aleatoria de 9 boquillas que representan a las que se producen comúnmente. Codifican las boquillas para identificar las mediciones tomadas en cada boquilla.

El primer operador mide las 9 boquillas en orden aleatorio. Luego, el segundo operador mide las 9 boquillas en un orden aleatorio diferente. Cada operador repite el proceso dos veces, para un total de 36 mediciones.

**Nota** Para que los análisis de los sistemas de medición sean válidos, usted debe seleccionar las muestras y medir las partes de manera aleatoria.

La especificación para los diámetros de la boquilla son 9012  $\pm$  4 micrones. La tolerancia es de 8 micrones.

### Herramientas

- **Estudio R&R del sistema de medición (cruzado)**

### Conjunto de datos

Boquilla.MPJ

Variable	Descripción
Boquilla	Boquilla de inyector de combustible medida
Operador	Operador que midió
Orden de las corridas	Orden original de las corridas del experimento
Diám	Diámetro de boquilla medido (micrones)

## Análisis de sistemas de medición

### Qué es un análisis de sistemas de medición

Un análisis de sistemas de medición evalúa qué tan adecuado es un sistema de medición para una aplicación dada. Al medir la salida de un proceso, considere dos fuentes de variación:

- Variación de parte a parte
- Variación del sistema de medición

Si la variación del sistema de medición es grande en comparación con la variación de parte a parte, las mediciones podrían no proveer información útil.

### Cuándo utilizar un análisis de sistemas de medición

Antes de recolectar datos de su proceso (por ejemplo, para analizar el control o la capacidad del proceso), utilice un análisis de sistemas de medición para confirmar que el sistema de medición mide de forma consistente y exacta, y que discrimina adecuadamente entre las partes.

### Por qué utilizar un análisis de sistemas de medición

Un análisis de sistemas de medición responde a preguntas como:

- ¿Puede el sistema de medición discriminar adecuadamente entre partes diferentes?
- ¿Es el sistema de medición estable en el tiempo?
- ¿Es el sistema de medición exacto en todo el rango de partes?

Por ejemplo:

- ¿Puede un viscosímetro discriminar adecuadamente entre la viscosidad de varias muestras de pintura?
- ¿Es necesario calibrar periódicamente una balanza para pesar con exactitud bolsas llenas de chips de patatas?
- ¿Mide un termómetro con exactitud la temperatura de todas las configuraciones de calor utilizadas en el proceso?

## Estudio R&R del sistema de medición (cruzado)

### Qué es un estudio R&R del sistema de medición (cruzado)

Un estudio R&R del sistema de medición cruzado estima cuánto de la variación total del proceso es causada por el sistema de medición. La variación total del proceso consta de la variación de parte a parte más la variación del sistema de medición. La variación del sistema de medición consta de:

- Repetibilidad—variación debido al dispositivo de medición, o la variación observada cuando el mismo operador mide la misma parte repetidamente con el mismo dispositivo
- Reproducibilidad—variación debido al sistema de medición, o la variación observada cuando diferentes operadores miden la misma parte utilizando el mismo dispositivo

Cuando se estima la repetibilidad, cada operador mide cada parte por lo menos dos veces. Cuando se estima la reproducibilidad, por lo menos dos operadores deben medir las partes. Los operadores miden las partes en orden aleatorio, y las partes seleccionadas representan el posible rango de mediciones.

### Cuándo utilizar un estudio R&R del sistema de medición (cruzado)

- Utilice el estudio R&R del sistema de medición para evaluar un sistema de medición antes de usarlo para monitorear o mejorar un proceso.
- Utilice el análisis cruzado cuando cada operador mida cada parte (o lote, en el caso de una prueba destructiva) múltiples veces.

## Estudio R&R del sistema de medición (cruzado)

### Por qué utilizar un estudio R&R del sistema de medición (cruzado)

Este estudio compara la variación del sistema de medición con la variación total del proceso o tolerancia. Si la variación del sistema de medición es grande en proporción con la variación total, el sistema de medición pudiera no distinguir de manera adecuada entre las partes.

Un estudio R&R cruzado del sistema de medición puede responder a preguntas como:

- ¿Es la variabilidad de un sistema de medición pequeña en comparación con la variabilidad del proceso de manufactura?
- ¿Es la variabilidad de un sistema de medición pequeña en comparación con los límites de especificación del proceso?
- ¿Cuánta variabilidad en un sistema de medición es causada por diferencias entre los operadores?
- ¿Es un sistema de medición capaz de distinguir entre las partes?

Por ejemplo:

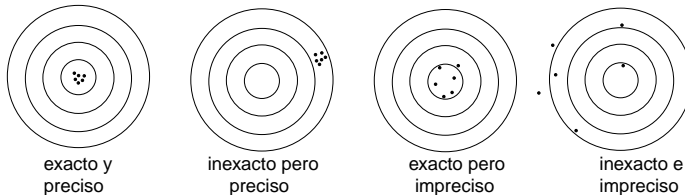
- ¿Cuánto de la variabilidad en el diámetro medido de un cojinete es causada por el calibrador?
- ¿Cuánto de la variabilidad en el diámetro medido de un balero es causada por el operador?
- ¿Puede el sistema de medición discriminar entre cojinetes de diferente tamaño?

## Error del sistema de medición

Los errores del sistema de medición se pueden clasificar en dos categorías:

- Exactitud—la diferencia entre el valor medido y el valor real de la parte
- Precisión—la variación cuando la misma parte se mide repetidamente con el mismo dispositivo

Errores de una o ambas categorías pueden ocurrir dentro de cualquier sistema de medición. Por ejemplo, un dispositivo puede medir partes con precisión (poca variación en las mediciones), pero sin exactitud. Un dispositivo también puede ser exacto (el promedio de las mediciones es muy cercano al valor maestro), pero no preciso (las mediciones tienen varianza grande). Además, es posible que un dispositivo no sea ni exacto ni preciso.



### Exactitud

La exactitud de un sistema de medición tiene tres componentes:

- Sesgo—una medida de la inexactitud en el sistema de medición; la diferencia entre la medición promedio observada y un valor maestro
- Linealidad—una medida de cómo el tamaño de la parte afecta el sesgo del sistema de medición; la diferencia en los valores de sesgo observados en el rango esperado de mediciones
- Estabilidad—una medida de qué tan bien funciona el sistema en el tiempo; la variación total obtenida con un dispositivo particular, en la misma parte, al medir una característica individual en el tiempo

### Precisión

La precisión, o variación en la medición, tiene dos componentes:

- Repetibilidad—variación debido al dispositivo de medición, o la variación observada cuando el mismo operador mide la misma parte repetidamente con el mismo dispositivo
- Reproducibilidad—variación debido al sistema de medición, o la variación observada cuando diferentes operadores miden la misma parte utilizando el mismo dispositivo

## Evaluación del sistema de medición

Utilice un Estudio R&R del sistema de medición (cruzado) para evaluar:

- Qué tan bien el sistema de medición puede distinguir entre las partes
- Si los operadores miden consistentemente

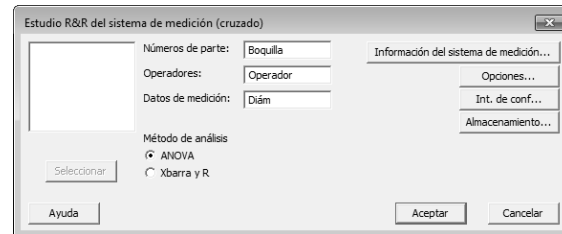
### Tolerancia

Los límites de especificación para los diámetros de la boquilla son  $9012 \pm 4$  micrones. En otras palabras, se permite que el diámetro de la boquilla varíe hasta 4 micrones en cualquier dirección. La tolerancia es la diferencia entre los límites de especificación:  $9016 - 9008 = 8$  micrones.

Al ingresar un valor en **Tolerancia del proceso**, usted puede determinar qué proporción de la tolerancia corresponde a la variación en el sistema de medición.

### Estudio R&R del sistema de medición (cruzado)

1. Abra Boquilla.MPJ.
2. Elija **Estadísticas > Herramientas de calidad > Estudio del sistema de medición > Estudio R&R del sistema de medición (cruzado)**.
3. Complete el cuadro de diálogo como se muestra a continuación.



4. Haga clic en **Opciones**.
5. En **Tolerancia del proceso**, elija **Espec. superior - Espec. inferior** y escriba 8.
6. Marque **Dibujar gráficas en gráficas separadas, una gráfica por página**.
7. Haga clic en **Aceptar** en cada cuadro de diálogo.



## Interpretación de los resultados

### Análisis de las tablas de varianza

Minitab utiliza el procedimiento del análisis de varianza (ANOVA) para calcular los componentes de la varianza, y luego utiliza esos componentes para estimar la variación porcentual atribuible al sistema de medición. La variación porcentual aparece en la tabla R&R del sistema de medición.

La tabla de ANOVA de dos factores incluye términos para la parte (Boquilla), operador (Operador) y la interacción operador por parte (Boquilla\*Operador).

Si el valor p para la interacción operador por parte es  $\geq 0.05$ , Minitab genera una segunda tabla de ANOVA que omite el término de interacción en el modelo. Para alterar el nivel de significancia Tipo I predeterminado de 0.05, haga clic en **Opciones** en el cuadro de diálogo principal. En **Término de interacción alfa a retirar**, escriba un nuevo valor (por ejemplo, 0.3).

En este caso, el valor p de Boquilla\*Operador es 0.707. Por lo tanto, Minitab elimina el término de interacción del modelo y genera una segunda tabla de ANOVA.

### Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Boquilla	8	46.1489	5.76861	769.148	0.000
Operador	1	0.0400	0.04000	5.333	0.050
Boquilla * Operador	8	0.0600	0.00750	0.675	0.707
Repetibilidad	18	0.2000	0.01111		
Total	35	46.4489			

*$\alpha$  para eliminar el término de interacción = 0.05*

### Tabla ANOVA dos factores sin interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Boquilla	8	46.1489	5.76861	576.861	0.000
Operador	1	0.0400	0.04000	4.000	0.056
Repetibilidad	26	0.2600	0.01000		
Total	35	46.4489			

## Interpretación de los resultados

### Componentes de la varianza

Minitab también calcula una columna de componentes de la varianza (CompVar) y utiliza los valores para calcular el %Contribution mediante el método de ANOVA.

La tabla de componentes de la varianza desglosa las fuentes de variabilidad total:

- **Gage R&R total** consta de:
  - **Repetibilidad**—la variabilidad resultante de mediciones repetidas por el mismo operador.
  - **Reproducibilidad**— la variabilidad resultante cuando diferentes operadores miden la misma parte. (Esta se puede dividir aún más hasta los componentes de operador y operador por parte).
- **Parte a parte**—la variabilidad en las mediciones entre las diferentes partes.

### ¿Por qué utilizar los componentes de la varianza?

Utilice los componentes de la varianza para determinar qué cantidad de la variación total corresponde a cada fuente de error de medición y a las diferencias entre las partes.

Lo ideal es que las diferencias entre las partes expliquen la mayoría de la variabilidad y que la variabilidad resultante de la repetibilidad y la reproducibilidad sea muy pequeña.

### R&R del sistema de medición

#### Componentes de la varianza

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	0.01167	0.80
Repetibilidad	0.01000	0.69
Reproducibilidad	0.00167	0.11
Operador	0.00167	0.11
Parte a parte	1.43965	99.20
Variación total	1.45132	100.00

## Interpretación de los resultados

### Contribución porcentual

El %Contribución se basa en las estimaciones de los componentes de la varianza. Cada valor de CompVar se divide entre la Variación total y luego se multiplica por 100.

Por ejemplo, para calcular el %Contribución de Parte a parte, divida el CompVar de Parte a parte entre la Variación total y multiplique por 100:

$$(1.43965/1.45132) * 100 \approx 99.20$$

Por lo tanto, el 99.2% de la variación total en las mediciones se debe a las diferencias entre las partes. Este alto %Contribución se considera bastante aceptable. Cuando el %Contribución de Parte a parte es alto, el sistema puede distinguir entre las partes.

### Uso de la varianza versus la desviación estándar

Debido a que el %Contribución se basa en la varianza total, la columna de valores suma 100%.

Minitab muestra también columnas con porcentajes basados en la desviación estándar de cada término. Estas columnas, identificadas como %Var. de estudio y %Tolerancia, por lo general no suman 100%.

Debido a que la desviación estándar utiliza las mismas unidades que las mediciones de partes y la tolerancia, se pueden realizar comparaciones significativas.

### Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)	%Tolerancia (VE/Toler)
Gage R&R total	0.10801	0.64807	8.97	8.10
Repetibilidad	0.10000	0.60000	8.30	7.50
Reproducibilidad	0.04082	0.24495	3.39	3.06
Operador	0.04082	0.24495	3.39	3.06
Parte a parte	1.19986	7.19913	99.60	89.99
Variación total	1.20471	7.22824	100.00	90.35

Número de categorías distintas = 15

## Interpretación de los resultados

### Variación porcentual del estudio

Utilice %Var. de estudio para comparar la variación del sistema de medición con la variación total.

Minitab calcula %Var. de estudio dividiendo cada valor en Var. de estudio entre Variación total y luego multiplicando por 100.

%Var. de estudio para estudio R&R del sistema de medición es

$$(0.64807/7.22824) * 100 \approx 8.97\%$$

Minitab calcula la Var. de estudio como la desviación estándar de cada fuente multiplicada por 6.

### Variación del proceso 6s

Por lo general, la variación del proceso se define como 6s, donde s es la desviación estándar, como una estimación de  $\sigma$ . Cuando los datos están normalmente distribuidos, aproximadamente 99.73% de los datos se ubican dentro de 6 desviaciones estándar ( $\pm 3$  desviaciones estándar desde la media), y aproximadamente 99% de los datos se ubicarán dentro de 5.15 desviaciones estándar ( $\pm 2.575$  desviaciones estándar desde la media).

**Nota** El Grupo de Acción de la Industria Automotriz (AIAG) recomienda el uso de 6s en estudios R&R del sistema de medición.

### Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)	%Tolerancia (VE/Toler)
Gage R&R total	0.10801	0.64807	8.97	8.10
Repetibilidad	0.10000	0.60000	8.30	7.50
Reproducibilidad	0.04082	0.24495	3.39	3.06
Operador	0.04082	0.24495	3.39	3.06
Parte a parte	1.19986	7.19913	99.60	89.99
Variación total	1.20471	7.22824	100.00	90.35

Número de categorías distintas = 15

## Interpretación de los resultados

### Porcentaje de tolerancia

La comparación de la variación del sistema de medición con la tolerancia suele suministrar información relevante.

Si usted ingresa la tolerancia, Minitab calcula %Tolerancia, que compara la variación del sistema de medición con las especificaciones. El %Tolerancia es el porcentaje de la tolerancia afectado por la variabilidad del sistema de medición.

Minitab divide la variación del sistema de medición ( $6 \times DE$  para el estudio R&R del sistema de medición total) entre la tolerancia. Minitab multiplica la proporción resultante por 100 y la reporta como %Tolerancia.

%Tolerancia para el estudio R&R del sistema de medición es:  
 $0.64807/8) * 100 \approx 8.10\%$

### Qué métrica utilizar

Utilice %Tolerancia o %Var. de estudio para evaluar el sistema de medición, dependiendo del sistema de medición.

- Si se utiliza el sistema de medición para mejoras del proceso (reducción de la variación de parte a parte), %Var. de estudio representa una mejor estimación de la precisión de las mediciones.
- Si el sistema de medición evalúa las partes en relación con las especificaciones, el %Tolerancia es una métrica más apropiada.

### Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio ( $6 \times DE$ )	%Var. estudio (%VE)	%Tolerancia (VE/Toler)
Gage R&R total	0.10801	0.64807	8.97	8.10
Repetibilidad	0.10000	0.60000	8.30	7.50
Reproducibilidad	0.04082	0.24495	3.39	3.06
Operador	0.04082	0.24495	3.39	3.06
Parte a parte	1.19986	7.19913	99.60	89.99
Variación total	1.20471	7.22824	100.00	90.35

Número de categorías distintas = 15

## Interpretación de los resultados

### Estudio R&R del sistema de medición total

Los resultados de %Var. de estudio indican que el sistema de medición explica menos de 10% de la variación general en este estudio. Los resultados de %Tolerancia indican que la variación del sistema de medición es menor que 10% del ancho de tolerancia.

Estudio R&R del sistema de medición total:

- %Var. de estudio—8.97
- %Tolerancia—8.10

Recuerde que Minitab utiliza divisores diferentes para calcular %Tolerancia y %Var. de estudio. Debido a que el rango de tolerancia (8) es mayor que la variación total del estudio (7.22824) en este ejemplo, el %Tolerancia es más bajo.

### Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)	%Tolerancia (VE/Toler)
Gage R&R total	0.10801	0.64807	8.97	8.10
Repetibilidad	0.10000	0.60000	8.30	7.50
Reproducibilidad Operador	0.04082	0.24495	3.39	3.06
Parte a parte	1.19986	7.19913	99.60	89.99
Variación total	1.20471	7.22824	100.00	90.35

Número de categorías distintas = 15

## Interpretación de los resultados

### Número de categorías distintas

El valor de Número de categorías distintas estima cuántos grupos diferentes de partes puede distinguir el sistema.

Minitab calcula el número de categorías distintas que pueden observarse de manera confiable del siguiente modo:

$$\frac{S_{\text{parte}}}{S_{\text{sistema de medición}}} \times \sqrt{2}$$

Minitab trunca este valor hasta el entero, excepto cuando el valor calculado es menor que 1. En ese caso, Minitab establece el número de categorías distintas en 1.

Número de categorías	Significa que...
< 2	El sistema no puede discriminar entre las partes.
= 2	Las partes se pueden dividir en grupos altos y bajos, como en los datos de atributos.
≥ 5	El sistema es aceptable (según AIAG) y puede distinguir entre las partes.

En este caso, el número de categorías distintas es 15, lo que indica que el sistema puede distinguir entre las partes de manera excelente.

**Nota** AIAG recomienda que el número de categorías distintas sea 5 o más. Véase AIAG Measurement System Analysis (MSA) Reference Manual, 3rd edition (2002). Automotive Industry Action Group. en la lista de referencias.

### Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)	%Tolerancia (VE/Toler)
Gage R&R total	0.10801	0.64807	8.97	8.10
Repetibilidad	0.10000	0.60000	8.30	7.50
Reproducibilidad	0.04082	0.24495	3.39	3.06
Operador	0.04082	0.24495	3.39	3.06
Parte a parte	1.19986	7.19913	99.60	89.99
Variación total	1.20471	7.22824	100.00	90.35

Número de categorías distintas = 15

## Interpretación de sus resultados

### Componentes de la variación

La gráfica Componentes de la variación representa gráficamente la tabla del estudio R&R del sistema de medición en la salida de la ventana Sesión.

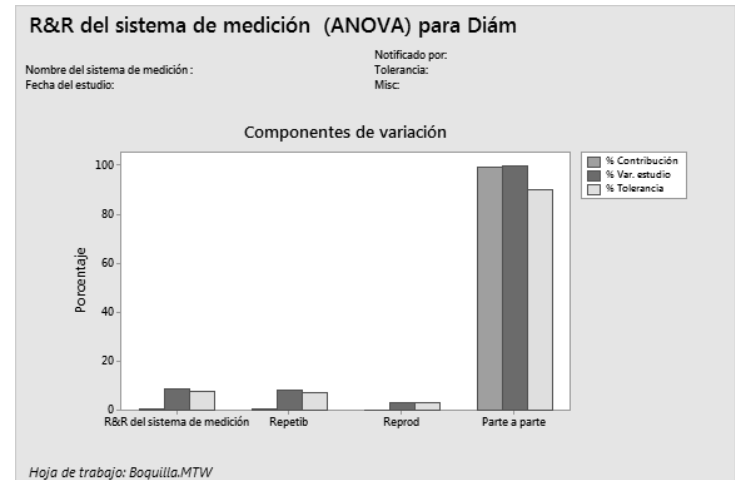
**Nota** En el cuadro de diálogo secundario **Opciones**, usted puede elegir mostrar estas gráficas en páginas separadas.

Cada conglomerado de barras representa una fuente de variación. Por opción predeterminada, cada conglomerado tiene dos barras, que corresponden al %Contribución y al %Var. de estudio. Si usted agrega una tolerancia o desviación estándar histórica, aparece una barra para el %Tolerancia o el %Proceso.

En un sistema de medición adecuado, el componente de variación más grande es la variación parte a parte. Si, en cambio, la alta variación se atribuye al sistema de medición, es posible que éste necesite correcciones.

Para los datos sobre boquillas, la diferencia en las partes representa la mayoría de la variación.

**Nota** Para las medidas de %Estudio, %Proceso y %Tolerancia, las barras Repet y Reprod no se suman a la barra Estudio RR del sistema de medición porque estos porcentajes están basados en desviaciones estándar, no en varianzas.









## Interpretación de sus resultados

### Interacción operador por parte

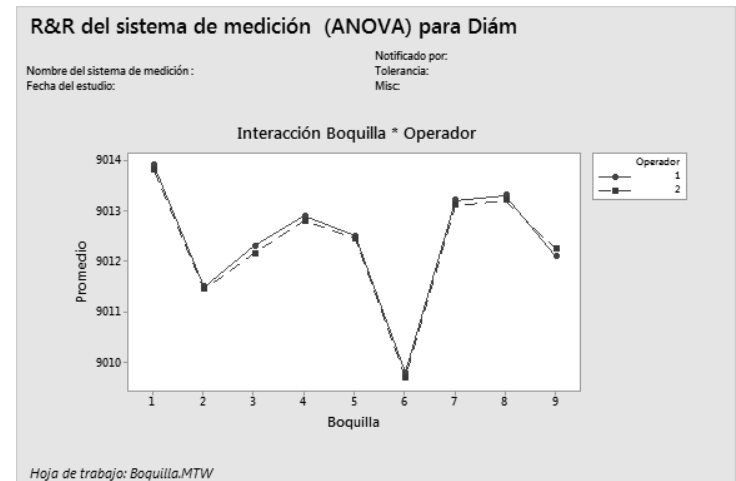
La gráfica de la interacción Boquilla\*Operador muestra las mediciones promedio por cada operador para cada parte. Cada línea conecta los promedios de un mismo operador.

Lo ideal es que las líneas sean virtualmente idénticas y que los promedios de las partes varíen suficientemente de modo que las diferencias entre las partes sean claras.

Este patrón...	Indica...
Las líneas son virtualmente idénticas.	Los operadores están midiendo las partes de forma similar.
Una línea es consistentemente más alta o más baja que las otras.	Un operador está midiendo las partes consistentemente más altas o más bajas que el resto de los operadores.
Las líneas no son paralelas o se cruzan.	La habilidad de un operador para medir una parte depende de cuál parte esté midiendo (existe una interacción entre Operador y Parte).

En este ejemplo, las líneas se siguen de cerca entre sí y las diferencias entre las partes son obvias. Los operadores parecen estar midiendo las partes de manera similar.

**Nota** Según la tabla de ANOVA en la página 9, el valor p de la interacción es 0.707, lo que indica que la interacción no es significativa en el nivel de significancia ( $\alpha$ ) = 0.05.



## Interpretación de sus resultados

### Mediciones por operador

La gráfica Por operador puede ayudar a determinar si las mediciones y la variabilidad son consistentes entre los operadores.

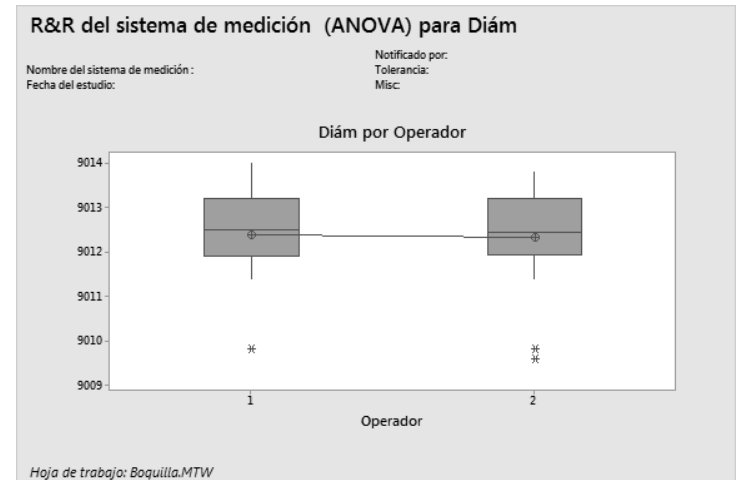
La gráfica Por operador muestra todas las mediciones del estudio, organizadas por operador. Cuando cada operador tiene nueve o menos mediciones, los puntos representan las mediciones. Cuando cada operador tiene más de nueve mediciones, Minitab muestra una gráfica de caja. En ambos tipos de gráficas, los círculos negros representan las medias, y una línea las une.

Si la línea está...	Entonces...
Paralela al eje X	Los operadores están midiendo las partes de forma similar, en promedio.
No paralela al eje X	Los operadores están midiendo las partes de forma diferente, en promedio.

Además, utilice esta gráfica para determinar si la variabilidad general en las mediciones de las partes para cada operador es igual.

- ¿Es similar la dispersión en las mediciones?
- ¿Varían las mediciones de un operador más que las otras?

En este caso, los operadores parecen estar midiendo las partes de manera consistente, con aproximadamente la misma variación.



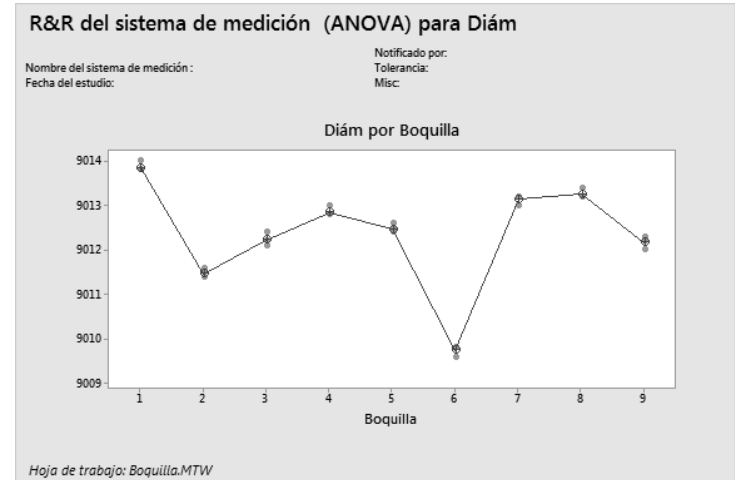
## Interpretación de sus resultados

### Mediciones por parte

La gráfica Por boquilla muestra todas las mediciones del estudio organizadas por parte. Minitab representa las mediciones con círculos vacíos y las medias con círculos sólidos. La línea conecta las mediciones promedio de cada parte.

De forma ideal:

- Múltiples mediciones de cada parte muestran poca variación (los círculos vacíos de cada parte están cerca entre sí).
- Los promedios varían lo suficiente para que las diferencias entre las partes sean claras.



## Consideraciones finales

### Resumen y conclusiones

El sistema de medición de boquillas contribuye muy poco a la variación general, tal como lo confirman la tabla R&R del sistema de medición y las gráficas.

La variación debido al sistema de medición, bien sea como porcentaje de variación del estudio o como porcentaje de tolerancia, es menor que 10%. De acuerdo con las directrices AIAG, este sistema es aceptable.

### Consideraciones adicionales

Los estudios R&R del sistema de medición (cruzados), igual que otros procedimientos de análisis de sistemas de medición (MSA), son experimentos diseñados. Para que los resultados sean válidos, la aleatorización y el muestreo representativo son esenciales.

## Consideraciones finales

### Consideraciones adicionales

Patrones de gráficas que muestran poca variación en el sistema de medición:

Gráfica	Patrón
R	Rango promedio pequeño
Gráfica Xbarra	Límites de control estrechos y muchos puntos fuera de control
Por parte	Mediciones muy similares para cada parte en todos los operadores, y claras diferencias entre las partes
Por operador	Línea horizontal recta
Operador por parte	Líneas sobrepuestas

Para el %Contribución, las directrices AIAG son:

%Contribución	El sistema es...
1% o menos	Aceptable
1% a 9%	Potencialmente aceptable (depende de la criticidad de la medición, los costos, riesgos, etc.)
9% o más	Inaceptable

Las directrices AIAG para la tabla R&R del instrumento de medición son:

%Tolerancia, %Var. de estudio %Proceso	El sistema es...
Por debajo de 10%	Aceptable
10% a 30%	Potencialmente aceptable (depende de la criticidad de la medición, los costos, riesgos, etc.)
Por encima de 30%	Inaceptable

Fuente: [1] en la lista de referencias.