Análisis del sistema de medición en una empresa de la zona centro del Estado de Veracruz

Ing. Gabriel Antonio Hernández Moreno [1], Dr. Mario Leoncio Arrioja Rodríguez [2], M.C. Jorge Luis Hernández Mortera [3], Ing. Luis Martín Gutiérrez Urbina [4]

***Resumen*—** Los sistemas de medición, si no funcionan apropiadamente, pueden representar una fuente de variación que puede impactar negativamente en la capacidad del proceso. Si la medición es una fuente de variabilidad, la organización puede estar rechazando unidades buenas y/o aceptando unidades malas. El presente artículo está enfocado en evaluar la contribución a la variabilidad que aporta el sistema de medición al proceso de producción de café esférico soluble por medio del método ANOVA.
***Palabras clave*—** MSA, Variabilidad, R&R, Capacidad de proceso.

Introducción

Los sistemas de medición, si no funcionan apropiadamente, pueden representar una fuente de variación que puede impactar negativamente en la capacidad del proceso. Si la medición es una fuente de variabilidad, la organización puede estar rechazando unidades buenas y/o aceptando unidades malas. Por lo tanto, debe determinarse si el sistema de medición es confiable antes de que se determine la línea base para la capacidad del proceso. Al validar el sistema de medición, le permite a la organización aceptar apropiadamente unidades buenas y rechazar apropiadamente unidades malas, así se establece un verdadero nivel de calidad. El estudio de repetibilidad y reproducibilidad (R&R) permite calcular la variabilidad dentro de cualquier tipo de proceso y determinar si esta variación es aceptable o no. Existen varios métodos para realizar el estudio R&R: rangos, medias y rangos, pero el método ANOVA es el más exacto para calcular la variabilidad dentro de un proceso (Montgomery y Runger, 1993).

El Análisis del Sistema de Medición (Measurement System Analysis, MSA)

El Análisis del Sistema de Medición (MSA) es una serie de pruebas estadísticas diseñadas que permiten a una organización determinar si sus sistemas de medición son confiables. El tipo más común de MSA es el estudio de repetibilidad y reproducibilidad (R&R) del sistema de medición.

Montgomery y Runger (1993) indicaron que el sistema de medición debería desempeñar un papel activo en las acciones de mejora de la calidad llevadas a cabo por organizaciones, y que el análisis GR&R debería ser utilizado para identificar las fuentes de variación dentro de procesos de medición y para cuantificar estas variaciones.

La mayoría de los estudios R&R del sistema de medición evalúa los efectos de dos factores en la variación de su sistema de medición: por lo general, operador y parte (Johnson y Bailey, 2012).

La repetibilidad es definido como la "variación en las mediciones obtenida con un instrumento que se utiliza varias veces por un tasador mientras mide una característica en una parte". La reproducibilidad es definida como la "variación en el promedio de las mediciones realizadas por diferentes evaluadores utilizando el mismo instrumento cuando se mide una característica en una parte" (Wang y Chien, 2010).

La AIAG (Automotive Industry Action Group, 2005) ha indicado que el Control Estadístico de Procesos (Statistical Process Control, SPC) es normalmente utilizado para monitorear la capacidad de medición de un proceso, y el SPC no es simplemente una herramienta útil, pero una parte esencial para la garantía de calidad, porque sin una buena evaluación de la medición, capacidad y confiabilidad, los datos medidos no pueden ser considerado poco confiables (Chen, 2008).

¿Cómo realizar un estudio GR&R de Variables?

1. Identificar la característica de interés en la unidad a ser medida, el instrumento, y los operadores que usarán el instrumento.

2. Establecer un número de unidades (generalmente diez) que abarquen el rango de la variabilidad del proceso a largo plazo.

[1]El Ing. Gabriel Antonio Hernández Moreno es estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz gabriel_ii2016@hotmail.com **(autor corresponsal)**
[2] El Dr. Mario Leoncio Arrioja Rodríguez es catedrático en Licenciatura, Maestría en Ingeniería Industrial y coordinador del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería del Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz mlarrioja@gmail.com
[3] El M.C. Jorge Luis Hernández Mortera es catedrático en Licenciatura y Maestría en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz mortera60@yahoo.com.mx
[4] El Ing. Luis Martín Gutiérrez Urbina es estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz martin_sdkfz171@hotmail.com

3. Esto puede requerir recolectar muestras por varios días o semanas.
4. Conducir el GR&R en el ambiente donde trabaja el sistema de medición.
5. Estimar la repetibilidad y la reproducibilidad al conducir una prueba utilizando tres operadores y diez unidades. Las unidades requieren ser medidas al menos dos veces por cada operador.
6. Esta prueba debe ser aleatoria; por lo tanto, el primer operador tiene que medir las diez unidades en orden aleatorio, posteriormente el segundo operador tiene que medir las diez unidades en orden aleatorio, y después el tercer operador. Una vez que los tres operadores han medido todas las unidades al menos una vez, deberán volverlas a medir de nuevo en orden aleatorio para obtener mediciones repetidas. Debe haber en total sesenta mediciones mínimas para el diseño de esta prueba (3*10*2).
7. Calcular las varianzas utilizando el método de ANOVA.
8. Interpretar los resultados gráficamente y analíticamente para determinar si el sistema de medición es aceptable, requiere reparación, o debe ser reemplazado.

El análisis numérico se realizará por medio del cálculo de los componentes individuales de repetibilidad y reproducibilidad. El cálculo de la repetibilidad es conocido como el ruido presente en el experimento, ya que su propósito es estimar la variabilidad interna de cada condición. El cálculo de la reproducibilidad determina la variabilidad entre las condiciones. Finalmente, el cálculo de R&R es la razón de estimar la variabilidad interna promedio y la variabilidad entre las condiciones.

¿Cuánta variabilidad es aceptable en un sistema de medición?

La Tabla 1 nos muestra los criterios de aceptación para determinar qué tan bueno es nuestro sistema de medición.

Tabla 1. Criterios de aceptación para el sistema de medición (Rafael Carlos Cabrera Calva, 2000)

	% Contribución	% Estudio	% Tolerancia
Marginalmente aceptable	< 9%	< 30%	< 30%
Bueno	< 4%	< 20%	< 20%
Excelente	< 1%	< 10%	< 10%

El ideal sistema de medición debería tener estadísticamente cero errores con respecto al producto medido, aunque esto no es posible en la práctica (Al-Refaie y Bata, 2010).

Algunas consideraciónes a contemplar

Si la repetibilidad es grande comparada con la reproducilidad las razones podrian ser:

1. El instrumento necesita mantenimiento
2. El equipo requiere ser rediseñado para ser más rígido
3. El montaje o ubicación donde se efectúan las medicioens necesita ser mejorado
4. Existe una variabilidad excesiva entre las partes

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

1. El operador o metrólogo necesita mejor entrenamiento en como utilizar y como leer el instrumento
2. La indicación del instrumento no es clara
3. No se han mantenido condiciones de reproducibilidad (ambientales, montaje, fluidos, etc.)
4. El instrumento de medición presenta deriva (variación lenta de una característica metrológica de un instrumento de medición) esto está relacionado con la estabilidad.

Desarrollo

Paso 1.- Se selecciona un lote de producción, en este caso se trabajará con un lote de materia prima 100% arábiga. La contribución del proceso no está implicada en esta instancia, de igual forma la definición operacional se encuentra distribuida de igual forma para los operadores participantes, es decir, el uso de equipo personal, las técnicas y los equipos serán iguales para los operadores.

Paso 2.- Se seleccionarán de forma aleatoria un mínimo de 2 y un máximo de 10 miembros del equipo de medición.

Cada uno de los integrantes deberá realizar sus experimentos 3 veces por cada muestra.

La muestra debe ser identificada para poder rastrear su trazabilidad.

La técnica de análisis debe de estar a la vista del operador para cada una de las variables críticas, es decir, la forma de medición de humedad, etc. (si a futuro se vuelve utilizar esta plantilla se pueden anexar tantas variables como el diseñador considere adecuadas).
Las muestras utilizadas para humedad serán depuradas, ya que esta sufrirá daños que alteran sus propiedades fisicoquímicas. Se solicitará suficiente muestra al departamento de producción para que los operadores no carezcan de cantidad de muestra necesaria para los análisis.
Los integrantes deben realizar el registro de datos de forma honesta, es decir, tal y como se obtenga el resultado del análisis, para lo cual se les facilitará un formato electrónico y uno físico.
Antes de realizar los análisis de medición los analistas deberán verificar su entorno laboral (condiciones del clima, deshumidificador,limpieza, etc.)
Una vez realizados las 3 replicas la cantidad de muestra sobrante no depurada será guardada nuevamente para su uso posterior en las siguientes mediciones.
Se deben hacer las tres replicas de la muestra seleccionada lo más rapido posible para evitar que el café absorba humedad del ambiente debido a sus caracteristicas higroscopicas.
Paso 3.- En la Figura 1 se muestra el procedimiento de medicion y registro de datos.

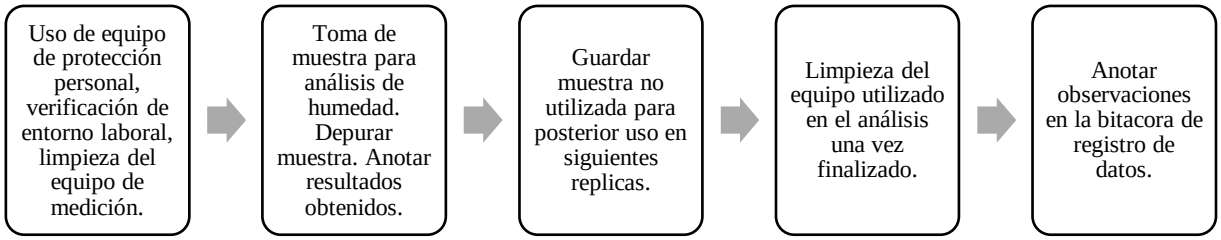

Figura 1. Procedimiento de medición y registro de datos (Elaboración propia).

Paso 4.-En la Figura 2 se muestran las posibles causas de variación del sistema de medición. En muchos procesos de fabricación, las partes se miden para asegurar que se cumplan ciertas especificaciones. Sin embargo, estas mediciones pueden ser engañosas si el sistema de medición en sí no es adecuado. Los errores de medición pueden ser causados por instrumentos de medición, tasadores, objetos medidos o el entorno de medición (Stevens, Browne et al, 2010).

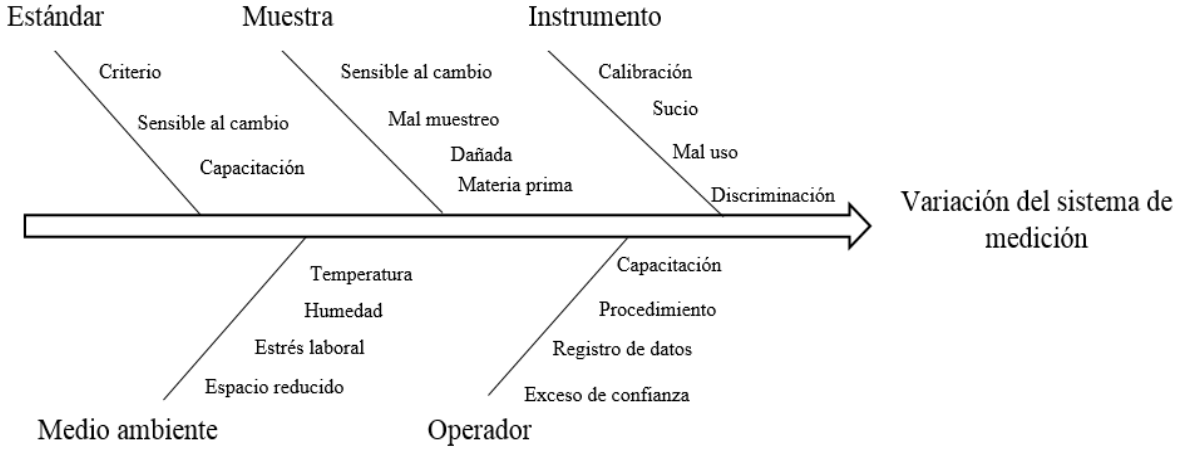

Figura 2. Diagrama de causa-efecto para variación del sistema de medición (Elaboración propia).

Paso 5.- Se utilizará un diseño de experimentos completo de forma aleatoria. Las muestras serán seleccionadas de forma aleatoria del total de la producción. Se solicitarán 250g de muestra para que alcance para cada uno de los operadores involucrados en sus mediciones por duplicado o triplicado.
Se recomienda que las muestras seleccionadas del total de lote de producción cubran el rango del mismo, es decir, muestras al inicio, mitad y final de la producción. La recolección de datos se hará en formato físico y electrónico.

Se plantea la siguiente hipótesis:
"*La implementación de un estudio de medición nos ayudará a validar que los operadores de laboratorio de planta soluble realizan sus mediciones de forma correcta y eficaz*"
Paso 6.-Posible solución y prueba de correlación lineal
Uso de Minitab para el análisis de datos obtenidos y conclusiones sobre la aportación del sistema de medición a la variabilidad.
Paso 7.- Institucionalizar el cambio

¿Información que se obtendrá?
1. ¿Qué tan grande es el error de medición?
2. ¿Cuáles son las fuentes del error de medición?
3. ¿Es estable la herramienta a través del tiempo?
4. ¿Es capaz la herramienta para este estudio?
5. ¿Cómo podemos mejorar el sistema de medición?

Resultados

En la Tabla 2 se muestran las mediciones obtenidas tras realizar el estudio de medición, estos datos serán utilizados para calcular los índices de R&R del sistema de medición.

Tabla 2. Datos recopilados de %Humedad para las diez partes seleccionadas (Elaboración propia).

OPERADOR	OP 1			OP 2			OP 3		
MUESTRA	1er. INT.	2do. INT.	3er. INT.	1er. INT.	2do. INT.	3er. INT.	1er. INT.	2do. INT.	3er. INT.
1	1.98	1.99	2.16	1.93	1.92	1.91	1.83	1.98	2.17
2	2.59	2.24	2.43	2.57	2.65	2.61	2.59	2.6	2.76
3	1.95	2.21	2.2	2.21	2.1	2.02	2.23	2.11	2.25
4	2.25	2.33	2.35	2.38	2.46	2.34	2.3	2.41	2.36
5	2.25	1.87	2.09	2.16	2.1	2.06	1.99	2.19	2.27
6	2.51	2.37	2.64	2.57	2.37	2.48	2.48	2.42	2.57
7	2.29	2.52	2.55	2.52	2.27	2.65	2.64	2.45	2.54
8	2.39	2.5	2.48	2.55	2.63	2.55	2.43	2.58	2.52
9	2.67	2.66	2.91	2.61	2.62	2.48	2.57	2.68	2.66
10	2.55	2.4	2.52	2.52	2.33	2.51	2.55	2.55	2.57

El siguiente paso es analizar estos datos obtenidos por el método ANOVA y determinar si los índices de repetibilidad y reproducibilidad son aceptables para el sistema de medición.

Tabla 3. Análisis ANOVA de dos factores con interacción (Elaboración propia).

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P
Operador	0.038	2	0.019	1.610	0.20847
Parte	4.045	9	0.449	38.504	0.00000
Parte*Operador	0.210	18	0.012	1.012	0.45979
Repetibilidad	0.692	60	0.012		
Total	4.984	89			

Eliminando el factor Parte*Operador debido a su valor P y su criterio F, se manda este al error (Repetibilidad) y se vuelve a realizar el análisis ANOVA.

Tabla 4. Análisis ANOVA de dos factores sin interacción (Elaboración propia).

Fuente de Variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P
Operador	0.038	2	0.018788	1.625	0.20349
Parte	4.045	9	0.449	38.873	0.00000
Repetibilidad	0.902	78	0.011561		
Total	4.984	89			

Como podemos observar el componente de Parte es aquel que no sobrepasa los límites del valor P > 0.05, el valor P de la fuente de variación Operador nos indicaría que este tiene poca o nula aportación de variación al sistema de medición ya que valor P > 0.05.

En la Tabla 1 mencionamos los criterios de aceptación para el sistema de medición, lo que podemos observar en la Tabla 5 es que el sistema de medición se encuentra en la categoría marginalmente aceptable. De igual forma podemos ver en la Tabla 5 qué el componente de repetibilidad es aquel que aporta mayor variación al índice R&R, esto está relacionado a la variación del equipo

Tabla 5. Resumen de datos de los componentes de repetibilidad, reproducibilidad y R&R (Elaboración propia).

Fuente	Desviación Estándar	Varianza	Desv. Estd. Corregida (5.15S)	% de contribución (varianzas)	% de variación (desv. estd.)	% de la tolerancia
Repetibilidad	0.10752	0.011561	0.554	19.12%	43.74%	27.69%
Reproducibilidad	0.01552	0.0002409	0.080	0.39%	6.31%	4.00%
R&R	0.10864	0.011802	0.559	19.52%	44.19%	27.97%
Parte	0.22054	0.04864	1.136	80.47%	89.71%	56.79%
Total	0.24584	0.06044	1.266	100.00%	100.00%	63.30%

Conclusiones

El error de medición es considerablemente grande, sin embargo, al ser producto el cual sufre alteraciones en su composición fisicoquímica conforme se desplaza el tiempo si esta no se preservase de las mejores maneras podemos decir que la naturaleza del mismo producto tiene impacto en el sistema de medición.

Las fuentes del error de medición estarían asociadas principalmente al equipo y la parte, con sospechas de implicación de método y tiempo de análisis.

La herramienta tiene cierta deriva, sin embargo, esta podría estar asociada a su falta de calibración externa apropiada y bajo certificación. La herramienta ciertamente tiene la capacidad de desarrollar el trabajo, pero al ser utilizada de manera constante diariamente, mantenimientos preventivos deberían ser implementados con mayor frecuencia.

El sistema de medición puede mejorar desde la estandarización del método de muestreo y realización de análisis para tratar de reducir el error de medición. De los operadores seleccionados varia su experiencia y esto en algunas ocasiones puede dar lugar a variación en la medición.

Finalmente, en la Figura 3 podemos ver generalmente que el comportamiento en la gráfica MEDICIÓN por OPERADOR no habría evidencia significativa que indicara que alguno de los operadores mida de forma diferente. Esto se confirma con el porcentaje del 4% del módulo de reproducibilidad que está asociado a la diferencia de mediciones por operadores como se muestra en la Tabla 5.

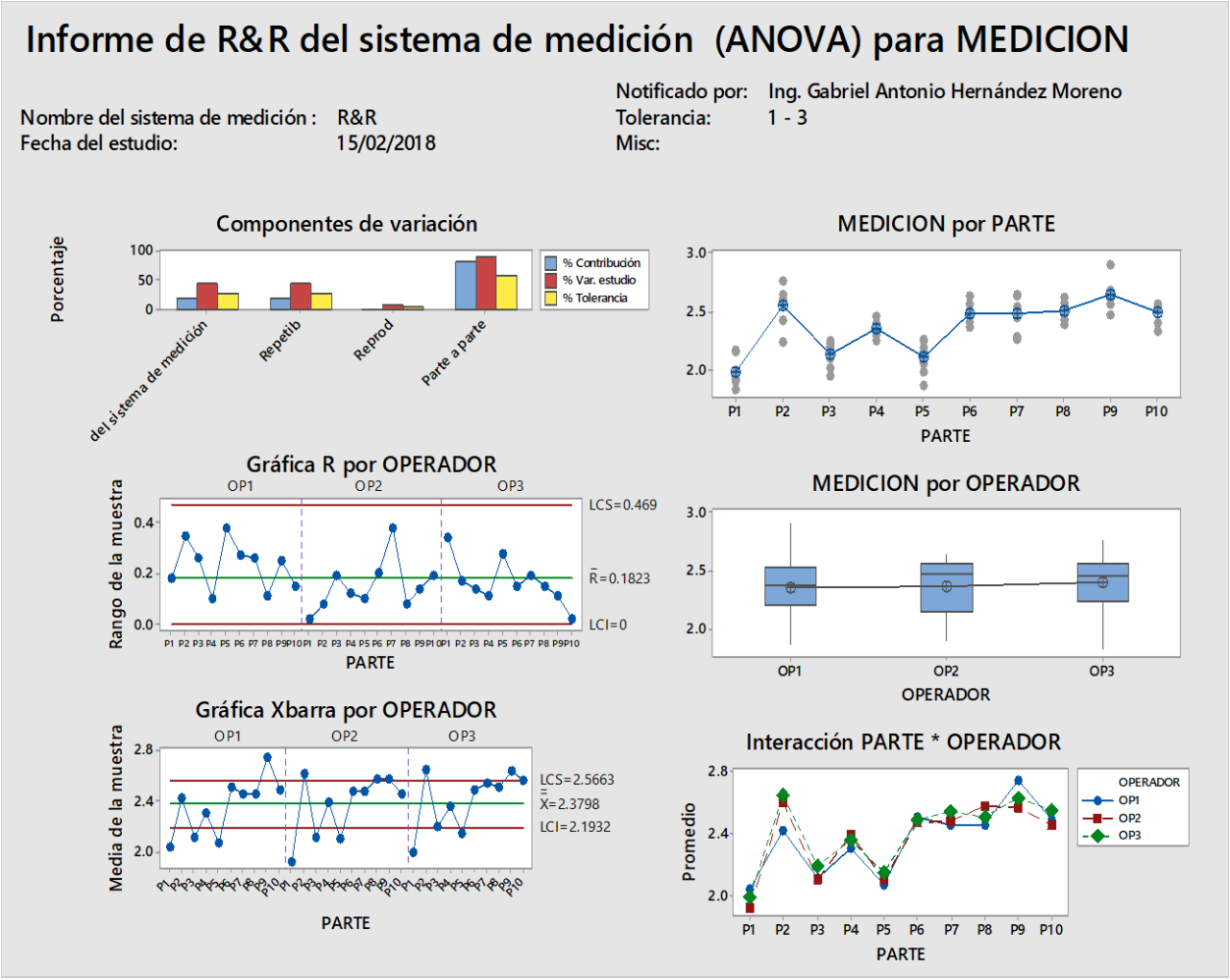

Figura 3. Informe R&R del sistema de medición (método ANOVA).

Referencias

Al-Refaie, A., Bata, N., Evaluating measurement and process capabilities by GR&R with four quality measures", Measurement, Vol.43, No.6, 2010, pp.842-851

Automotive Industry Action Group (AIAG). Measurement systems analysis: reference manual (4th ed.). Southfield, MI: Chrysler, 2010.

Chen, K. S., Wu, C. H., Chen, S. C., Criteria of Determining the P/T Upper Limits of GR&R in MSA, Quality & Quantity, Vol.42, No.1, 2008, pp.23-33

Coser Mergulhão, R., & Martins, R. (2008). Relação entre sistemas de medição de desempenho e projetos Seis Sigma: estudo de caso múltiplo. Production, 18 (2), 342-358.

Dolezal, K. K., R. K. Burdick y N. J. Birch (1998). "Analysis of a Two-Factor R&R Study with Fixed Operators." Journal of Quality Technology, Vol 30, p163.

García Santamaría, L., & Fernández Lambert, G., & Brenis Dzul, A. (2013). Mejora del Sistema de Medición: Un caso aplicado a la Industria Automotriz. Conciencia Tecnológica, (45), 41-46.

Johnson, L., y S. P. Bailey (2012), "Implementing an Expanded Gage R&R Study." ASQ World Conference on Quality and Improvement, Anaheim, Ca.

Montgomery, D. C., Runger, G. C., Gauge Capability and Designed Experiments Part I: Basic Methods, Quality Engineering, Vol.6, No.1, 1993, pp.115-135.

Santana Peruchi, R., & Maciel Junior, H., & Fernandes, N., & Balestrassi, P., & de Paiva, A. (2016). Comparisons of multivariate GR&R methods using bootstrap confidence interval. Acta Scientiarum. Technology, 38 (4), 489-496.

Stevens, N. T., Browne, R., Steiner, S. H., Mackay, R. J., Augmented Measurement System Assessment, Journal of Quality Technology, Vol.42, No.4, 2010, pp.388-399

Wang, F.K., Chien, T.W., Process-oriented basis representation for a multivariate gauge study, Computers & Industrial Engineering, Vol.58, 2010, pp.143-150

Yeh, T., & Sun, J. (2013). Using the Monte Carlo Simulation Methods in Gauge Repeatability and Reproducibility of Measurement System Analysis. Journal of Applied Research and Technology, 11 (5), 780-796.

Zuo, Y., (2009) "Effect of Sample Size on Variance Component Estimates in Gage R & R Studies." Minitab Technical White Paper.