

CAPÍTULO 6. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN A LA METROLOGÍA DIMENSIONAL EN LA PLANTA LEAR CORPORATION HERMOSILLO.

En este capítulo se describirán ejemplos basados en la discriminación de los sistemas de medición de la planta Lear Corporation Hermosillo aplicados a un análisis dimensional. Como instrumento de medición para llevar a cabo este análisis se utilizará un medidor de alturas digital de 500 mm con resolución de 0.01 mm. Se utilizarán diferentes patrones de medición para cada aplicación en los tipos de variación pero el mismo instrumento de medición.

SESGO

En este ejemplo se miden tres bloque patrón de 100mm, 250 mm y 400mm. Estos bloque son medidos diez veces por un técnico y se registran las lecturas en mm. La variación del proceso es 0.9.

Para el patrón de 100mm se obtuvieron los siguientes resultados:

Lectura 1 = 100.00	Lectura 6 = 100.00
Lectura 2 = 100.00	Lectura 7 = 99.99
Lectura 3 = 100.01	Lectura 8 = 100.00
Lectura 4 = 100.00	Lectura 9 = 100.00
Lectura 5 = 100.01	Lectura 10=100.00 Promedio = 100.001mm

Para el patrón de 250mm se obtuvieron los siguientes resultados:

Lectura 1 = 250.00	Lectura 6 = 250.00
Lectura 2 = 250.01	Lectura 7 = 250.01
Lectura 3 = 250.02	Lectura 8 = 250.01
Lectura 4 = 250.01	Lectura 9 = 250.00
Lectura 5 = 250.00	Lectura 10=250.01 Promedio = 250.007mm

Para el patrón de 400mm se obtuvieron los siguientes resultados:

Lectura 1 = 400.01	Lectura 6 = 400.02
Lectura 2 = 400.01	Lectura 7 = 400.02
Lectura 3 = 400.00	Lectura 8 = 400.01
Lectura 4 = 400.02	Lectura 9 = 400.00
Lectura 5 = 400.01	Lectura 10=400.01 Promedio = 400.011mm

Sesgo = Promedio de todas las lecturas – Promedio de los valores de Referencia

Sesgo = 250.0063mm – 250.0000mm

Sesgo = 0.0063 mm

% de Sesgo = $100 (|\text{Sesgo}| / \text{Variación del Proceso})$

% de Sesgo = $100 (0.0063 / 0.9) = 0.7037 \%$.

Los resultados obtenidos significan que las mediciones tomadas serán en promedio 0.0063 mm más que el valor de referencia con una variación el proceso de 0.7037 %.

Para eliminar esta variación se deben combatir las posibles causas, las cuales están descritas en la página 15. Se puede calibrar el instrumento de medición, verificar que los patrones de medición están en la medida correcta, verificar la condición física del instrumento ya que pueden haber rastros de suciedad, verificar las baterías ya que pueden ocasionar errores de medición en instrumentos electrónicos, ó verificar que el método utilizado por el técnico es el adecuado. De esta manera eliminando estos posibles factores de error se elimina la variación en la mediciones tomadas.

REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

Se seleccionan 10 muestras de bastidores de respaldo trasero del proceso y se eligen tres técnicos de la planta para que realicen el estudio. Cada parte se mide 2 veces y los datos son registrados en la tabla 7 de la hoja de datos de repetibilidad y reproducibilidad.

La tabla 8 muestra los resultados obtenidos de repetibilidad y reproducibilidad donde se observa que se obtuvo una repetibilidad o variación del equipo de 0.05016 con un porcentaje de 9.68% y una reproducibilidad o variación del evaluador de 0.24 con un porcentaje de 46.33%, con una variación total de 0.518. Debido a que la variación del evaluador es 0.24 con porcentaje de 46.33% se incrementa la repetibilidad y reproducibilidad en 0.24 y un porcentaje de R&R de 47.34%, esto es provocado al existir una gran diferencia entre los promedios de mediciones de los evaluadores que es de 0.089, lo cual eleva el porcentaje de variación del evaluador y por consiguiente el de R&R.

REPORTE DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN.

REFERENCIA: CMC-008 SERIE: 7008340 ESPECIFICACIÓN: 369.0 +/-3mm
DESCRIPCIÓN: MEDIDOR DE ALTURAS DIGITAL
RANGO DEL INST.: 0-500mm
DESCRIP. DE LA PARTE: BASTIDOR DE RESPALDO TRASERO FECHA DE VERIFICACIÓN: SEPTIEMBRE 2, 1998
NUM. DE PARTE: 61027 FECHA VENCIMIENTO: SEPTIEMBRE 2, 1999
CARACTERÍSTICA: ANCHO DEL BASTIDOR FRECUENCIA: C/AÑO

EVALUADOR Y ENSAYO	PARTE										PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1A. Jesús Coronado 1	368.8	368.99	368.92	368.88	368.71	368.75	369.04	368.79	368.97	368.94	368.879
2. 2	368.79	369	368.93	368.9	368.71	368.75	369.03	368.8	368.97	368.93	368.881
3											
4. PROMEDIO	368.795	368.995	368.925	368.89	368.71	368.75	369.035	368.795	368.97	368.935	$\bar{X}_e = 368.88$
5. RANGO	0.01	0.01	0.01	0.02	0	0	0.01	0.01	0	0.01	$\bar{R}_e = 0.008$
6B. Arcadio Acosta 1	368.92	369.01	368.96	369.05	368.77	368.81	369.08	368.83	369.01	368.97	368.941
7. 2	368.95	369.01	368.96	369.02	368.75	368.8	369.08	368.85	369.01	368.97	368.94
8											
9. PROMEDIO	368.935	369.01	368.96	369.035	368.76	368.805	369.08	368.84	369.01	368.97	$\bar{X}_e = 368.9405$
10. RANGO	0.03	0	0	0.03	0.02	0.01	0	0.02	0	0	$\bar{R}_e = 0.011$
11.C Arturo Flores 1	368.97	369.07	369.02	368.97	368.9	368.85	369.08	368.87	369.01	368.96	368.97
12. 2	368.96	369.08	369.01	368.96	368.87	368.84	369.09	368.86	369.03	368.98	368.968
13											
14. PROMEDIO	368.965	369.075	369.015	368.965	368.885	368.845	369.085	368.865	369.02	368.97	$\bar{X}_e = 368.969$
15. RANGO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	$\bar{R}_e = 0.014$
16. PROMEDIO DE LA PARTE.	368.8983	369.02667	368.9667	368.96333	368.785	368.8	369.0666667	368.8333	369	368.95833	$\bar{X}_e = 368.9298333$
17. $(\bar{R}_e - 0.045) + (\bar{R}_e - 0.045) + (\bar{R}_e - 0.045) / (\# \text{ DE EVALUADORES} = 3) =$											$\bar{R}_e = 0.281666667$
18. $(\bar{Max} X) - (\bar{Min} X) =$											$\bar{R}_e = 0.011$
19. $(\bar{R}) \times (D_1^* = 3.27) = UCL_R$											$\bar{R}_e = 0.089$
20. $(\bar{R}) \times (D_2^* = 0.00) = LCL_R$											$\bar{R}_e = 0.03597$
D ₁ =3.27 PARA DOS ENSAYOS Y 2.58 PARA TRES ENSAYOS; D ₂ =0 HASTA 7 ENSAYOS, UCL _R REPRESENTA EL LÍMITE DEL RANGO INDIVIDUAL, CIRCULE AQUELLOS QUE ESTÁN MÁS ALLÁ DE ESTE LÍMITE, IDENTIFIQUE LA CAUSA Y CORRIJALA. REPITA ESTAS LECTURAS USANDO EL MISMO EVALUADOR Y UNIDADES, COMO ORIGINALMENTE SE USÓ, O DESCARTAR LOS VALORES Y RECALCULAR EL RANGO Y LOS VALORES LÍMITES DE LAS OBSERVACIONES RESTANTES.											0

TABLA 7. Hoja de Datos de Lear Corporation de Repetibilidad y Reproducibilidad de un Instrumento de Medición

$R = 0.011$		$R_{\text{ref}} = 0.089$		$R_{\text{ref}} = 0.281667$	
ANÁLISIS DE UNIDAD DE MEDICIÓN					
REPETIBILIDAD - VARIACIÓN DEL EQUIPO (VE)		ENSAYO		K ₁	
VE = (R) * (K ₁) = 0.05016		3		3.05	
		2		4.56	
REPRODUCIBILIDAD - VARIACIÓN DEL EVALUADOR					
VARE = $\sqrt{((\bar{X}_{\text{ref}} * K_2)^2 - (VE^2 / n))}$		EVALUADOR = 3		K ₂	
		2.7		2.7	
		10		10	
		2		2	
0.0577441		0.0001238		0.2400381	
REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD (R & R)					
R & R = $\sqrt{(VE)^2 + (VARE)^2}$		= 0.002516		+ 0.057618	
R & R = 0.245223				47.338581	
VARIACIÓN DE LA PARTE					
VP = R _p x K ₃ = 0.281667 x 1.62		PARTES		K ₃	
VP = 0.4563		2		3.65	
		3		2.7	
		4		2.3	
		5		2.08	
		6		1.93	
		7		1.82	
		8		1.74	
		9		1.67	
		10		1.62	
VARIACIÓN TOTAL					
VT = $\sqrt{(R \& R)^2 + (VP)^2}$					
VT = $\sqrt{0.0601343^2 + 0.2082097^2}$				= 0.268344	
VT = 0.5180193					
OBSERVACIONES:					
ING. DE METROLOGÍA					

TABLA 8. Reporte de Lear Corporation de Repetibilidad y Reproducibilidad de un Instrumento de Medición

Esta variación se redujo al llevar a cabo otro estudio, pero en esta ocasión se informó a los técnicos de utilizar un método y referencias similares, es decir, que se les marcó un punto de referencia sobre el cual se mediría el ancho del bastidor. Al existir una infinidad de puntos donde se pudo llevar a cabo mediciones a lo largo del bastidor, se redujo a uno el punto de referencia eliminando el error de que de un técnico a otro se eligieran distintos puntos de medición, ya que la variación ocurrida pudo haber sido debido a puntos de medición diferentes.

Entonces, lo que se hizo para reducir esta variación fue el de señalar un punto de referencia en el bastidor para que el técnico pudiera medir exactamente la medida requerida (Ver tablas 9 y 10). Esto provocó que se obtuvieran resultados de reproducibilidad de 0.005 y 1.72% de porcentaje de variación del evaluador. Esto llevó a que se diera como resultado una repetibilidad y reproducibilidad de 0.0162 y un porcentaje de 4.81% que significativamente redujo la variación respecto a la anterior.

Debido a esta referencia otorgada a los técnicos, ellos pueden tener un criterio y métodos similares con una variación reducida que no permita lugar a amplias diferencias.

En la planta Lear Corporation se llevan a cabo estos estudios para calibradores o medidores de altura, ó para instrumentos nuevos. Pero se pueden llevar a cabo en una diversidad de instrumentos de inspección y medición como pueden ser escantillones, cronómetros, medidores de ángulos, etc. permitiendo revisar la confiabilidad de los datos obtenidos por los operadores de estos instrumentos en una empresa.

REPORTE DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN.

REFERENCIA: CMC-008 SERIE: 7006340 ESPECIFICACIÓN: 369.0 +/-3mm
 DESCRIPCIÓN: MEDIDOR DE ALTURAS DIGITAL
 RANGO DEL INST.: 0-500mm
 DESCRIP. DE LA PARTE: BASTIDOR DE RESPALDO TRASERO FECHA DE VERIFICACIÓN: SEPTIEMBRE 8, 1998
 NUM. DE PARTE: 61027 FECHA VENCIMIENTO: SEPTIEMBRE 8, 1999
 CARACTERÍSTICA: ANCHO DEL BASTIDOR FRECUENCIA: C/AÑO

EVALUADOR Y ENSAYO	PARTE										PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1A. Jetis Coronado 1	369.47	369.38	369.45	369.38	369.51	369.31	369.31	369.33	369.3	369.37	369.381
2.	369.48	369.37	369.46	369.37	369.5	369.32	369.3	369.34	369.3	369.37	369.381
3											
4. PROMEDIO	369.475	369.375	369.455	369.375	369.505	369.315	369.305	369.335	369.3	369.37	$\bar{X}_L = 369.381$
5. RANGO	-0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	$R_L = 0.006$
6B. Arcadio Acosta 1	369.48	369.35	369.5	369.37	369.49	369.3	369.29	369.34	369.3	369.37	369.379
2	369.48	369.36	369.5	369.36	369.49	369.3	369.28	369.34	369.3	369.37	369.378
8											
9. PROMEDIO	369.48	369.355	369.5	369.365	369.49	369.3	369.285	369.34	369.3	369.37	$\bar{X}_L = 369.3785$
10. RANGO	0	0.01	0	0.01	0	0	0.01	0	0	0	$R_L = 0.003$
11.C Arturo Flores 1	369.45	369.39	369.44	369.4	369.49	369.32	369.27	369.32	369.31	369.41	369.38
2	369.45	369.39	369.44	369.4	369.49	369.32	369.27	369.31	369.31	369.41	369.379
13											
14. PROMEDIO	369.45	369.39	369.44	369.4	369.49	369.32	369.27	369.315	369.31	369.41	$\bar{X}_L = 369.3795$
15. RANGO	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	$R_L = 0.001$
16. PROMEDIO DE	369.4683	369.3733	369.465	369.38	369.495	369.3117	369.286667	369.33	369.30333	369.38333	$\bar{X}_L = 369.379667$
LA PARTE.											$R_L = 0.208333333$
17. $(R_L = 0.045)^{1/2} + (R_L = 0.045) + (R_L = 0.030) / (\# \text{ DE EVALUADORES} - 3) =$											$\bar{X}_{GRF} = 0.003333333$
18. $(\frac{\text{Max } X}{\text{Min } X}) - (\text{Min } X) =$											$\bar{X}_{GRF} = 0.0025$
19. $(\bar{R}) \times (D_4^* = 3.27) = UCL_R$											$\bar{X}_{GRF} = 0.0109$
20. $(\bar{R}) \times (D_3^* = 0.00) = LCL_R$											0

$D_4^* = 3.27$ PARA DOS ENSAYOS Y 2.58 PARA TRES ENSAYOS; $D_3^* = 0$ HASTA 7 ENSAYOS; UCL_R REPRESENTA EL LÍMITE DEL RANGO INDIVIDUAL, CIRCULE AQUELLOS QUE ESTÁN MÁS ALLÁ DE ESTE LÍMITE, IDENTIFIQUE LA CAUSA Y CORRÍJALA. REPITA ESTAS LECTURAS USANDO EL MISMO EVALUADOR Y UNIDADES, COMO ORIGINALMENTE SE USÓ, O DESCARTAR LOS VALORES Y RECALCULAR EL RANGO Y LOS VALORES LÍMITES DE LAS OBSERVACIONES RESTANTES.

TABLA 9. Hoja de Datos de Lear Corporation de Repetibilidad y Reproducibilidad de un Instrumento de Medición con Referencia Similares

$\bar{R}_n = 0.0033333$		$\bar{X}_{diff} = 0.0025$		$R_n = 0.2083333$																							
ANÁLISIS DE UNIDAD DE MEDICIÓN																											
REPETIBILIDAD - VARIACIÓN DEL EQUIPO (VE)																											
$VE = (R)^2 (K_1) = 0.0132$		<table border="1"> <tr> <th>ENSAYO</th> <th>K₁</th> </tr> <tr> <td>3</td> <td>3.05</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>4.56</td> </tr> </table>		ENSAYO	K ₁	3	3.05	2	4.56	<table border="1"> <tr> <th>% TOTAL DE VARIACIÓN (VT)</th> </tr> <tr> <td>% VE = 100 (VE / VT) = 100 x 0.04498473</td> </tr> <tr> <td>% VE = 100 (VE / VT) = 4.498473</td> </tr> </table>		% TOTAL DE VARIACIÓN (VT)	% VE = 100 (VE / VT) = 100 x 0.04498473	% VE = 100 (VE / VT) = 4.498473													
ENSAYO	K ₁																										
3	3.05																										
2	4.56																										
% TOTAL DE VARIACIÓN (VT)																											
% VE = 100 (VE / VT) = 100 x 0.04498473																											
% VE = 100 (VE / VT) = 4.498473																											
REPRODUCIBILIDAD - VARIACIÓN DEL EVALUADOR																											
$VARE = \sqrt{(\bar{X}_{diff}^2 K_2) + (VE^2 / n)} = 4.556E-05$		<table border="1"> <tr> <th>EVALUADOR=3</th> </tr> <tr> <td>K₂ = 2.7</td> </tr> <tr> <td>n = 10</td> </tr> <tr> <td>r = 2</td> </tr> </table>		EVALUADOR=3	K ₂ = 2.7	n = 10	r = 2	<table border="1"> <tr> <th>% VARE = 100(VARE / VT)</th> </tr> <tr> <td>% VARE = 1.7259493</td> </tr> </table>		% VARE = 100(VARE / VT)	% VARE = 1.7259493																
EVALUADOR=3																											
K ₂ = 2.7																											
n = 10																											
r = 2																											
% VARE = 100(VARE / VT)																											
% VARE = 1.7259493																											
$n = \text{NÚMERO DE PARTES (VARILLAS)}$ $r = \text{NÚMERO DE ENSAYOS}$																											
REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD (R & R)																											
$R \& R = \sqrt{(VE)^2 + (VARE)^2} = 0.000231$		$+ 3.4E-05$		$\% R \& R = 100 (R \& R / VT) = 4.8182113$																							
$R \& R = 0.0162804$		<table border="1"> <tr> <th>PARTES</th> <th>K₃</th> </tr> <tr> <td>2</td> <td>3.65</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>2.7</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>2.3</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>2.08</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>1.93</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>1.82</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>1.74</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>1.67</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>1.62</td> </tr> </table>		PARTES	K ₃	2	3.65	3	2.7	4	2.3	5	2.08	6	1.93	7	1.82	8	1.74	9	1.67	10	1.62	$\% VP = 100 (VP / VT) = 99.88386$		0.998838568	
PARTES	K ₃																										
2	3.65																										
3	2.7																										
4	2.3																										
5	2.08																										
6	1.93																										
7	1.82																										
8	1.74																										
9	1.67																										
10	1.62																										
VARIACIÓN DE LA PARTE																											
$VP = R_n \times K_3 = 0.2083333 \times 1.62 = 0.3375$		$\% VP = 99.88386$																									
VARIACIÓN TOTAL																											
$VT = \sqrt{(R \& R)^2 + (VP)^2} = 0.0002651$		$+ 0.1139063$		$= 0.114171$																							
$VT = 0.3378924$		$\% VT = 99.88386$																									
OBSERVACIONES:																											
ING. DE METROLOGÍA																											

TABLA 10. Reporte de Lear Corporation de Repetibilidad y Reproducibilidad de un Instrumento de Medición con Referencia Similares

LINEALIDAD

Se toman 3 patrones de 100, 250 y 400 mm los cuales son medidos 10 veces cada uno por un técnico. Las lecturas obtenidas se muestran en la Tabla 11.

Referencia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Prom.	Sesgo
100mm	100.00	100.00	100.01	100.00	100.01	100.00	99.99	100.00	100.00	100.00	100.001	0.001
250mm	250.00	250.01	250.02	250.01	250.00	250.00	250.01	250.01	250.00	250.01	250.007	0.007
400mm	400.01	400.01	400.00	400.02	400.01	400.02	400.02	400.01	400.00	400.01	400.011	0.011

Tabla 11. Lecturas de los resultados obtenidos para la linealidad.

Se obtiene la bondad de ajuste (R^2) que se calcula como sigue:

$$y = b + ax$$

donde x = valor de referencia

y = sesgo

a = inclinación

$$a = \frac{\sum xy - [\sum x(\sum y/n)]}{\sum x^2 - [(\sum x)^2/n]} = 0.000033 = \text{Inclinación}$$

$$b = \sum (y/n) - a \times [\sum (x/n)] = -0.002$$

$$R^2 = \frac{[\sum xy - \sum x(\sum y/n)]^2}{[\sum x^2 - ((\sum x)^2/n)] \times [\sum y^2 - ((\sum y)^2/n)]} = 0.993$$

Sesgo

$$= b + ax$$

$$= -0.002 + 0.000033 \times (\text{Valor de Referencia})$$

$$\begin{aligned}\text{Linealidad} &= |\text{Inclinación}| \times \text{Variación del Proceso} \\ &= 0.000033 \times 250.00 \\ &= 0.0083\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ de Linealidad} &= 100 [\text{linealidad} / \text{variación del proceso}] \\ &= 0.00332 \%\end{aligned}$$

$$\text{Bondad de Ajuste } (R^2) = 0.993$$

1 Operador, 8 Ensayos, 3 Partes Variación del Proceso = 250.00

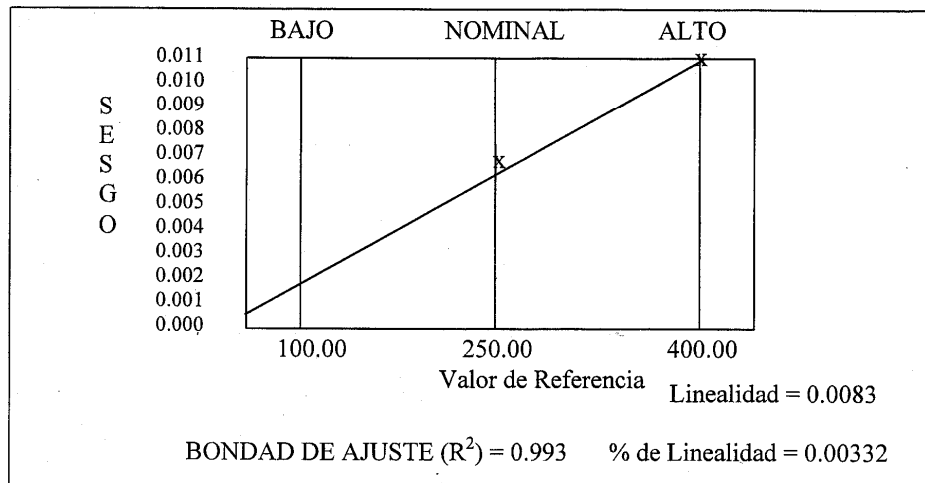


Figura 9. Gráfica de Linealidad para la aplicación

De acuerdo a los resultados obtenidos para las mediciones llevadas a cabo, se obtuvo un porcentaje de linealidad de 0.00332% y bondad de ajuste de 0.993, es decir, que cada vez que se realice una medición, esta variará un 0.00332% de su valor nominal (pendiente o inclinación) con un coeficiente de regresión lineal de 0.993.