

CONTROL ESTADISTICO DE PROCESO

Tabla 1 Resultados de cálculos

Concepto	Símbolo	Fórmula
Número de mediciones	N	-
Valor máximo	MAX	-
Valor mínimo	MIN	-
Rango	R	$R = \text{MAX} - \text{MIN}$
Promedio	\bar{X}	$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$
Desviación	$\bar{X} - R$ $\bar{X} - S$ $X - R_s$	$\hat{\sigma}(\bar{R}) = R / d_2$ $\hat{\sigma}(s) = \bar{S} / C_4$ $\sigma(n-1) = \sqrt{\frac{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}{N(N-1)}}$
Índice de capacidad del proceso	Cp	$(Cp) = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}}$ Caso de $\bar{X}-R, \bar{X}-S$ $(Cp) = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}(n-1)}$ Caso de $X-R_s$ *1, *4
Índice de capacidad del proceso	Cpk	$Cpk = \frac{Z \min}{3}$
Índice de capacidad de maquina	Cm	$Cm = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}(n-1)}$ Caso de $\bar{X}-R, \bar{X}-S$ $Cm = \frac{USL - LSL}{8\hat{\sigma}(n-1)}$ Caso de $X-R_s$ *1, *4
Índice de capacidad de maquina	Cmk	$Cmk = \frac{Z \min}{3}$ Caso de $\bar{X}-R, \bar{X}-S$ $Cmk = \frac{Z \min}{4}$ Caso de $X-R_s$ *2, *4
Fracción defectiva	P	$P = \frac{(+NG) + (-NG)}{N} \times 100$ *3
Fracción efectiva estimada	Pe	Calculada de Z_{USL}, Z_{LSL} y la gráfica de distribución normal *4, *5
$\pm 3SD$		SD: $\sigma(n-1)$ (SD = Desviación estándar)

Notas: bajo la tabla 2 en la página 2

CONTENIDO

Resultados de cálculos	Página 1
Fórmulas para gráficas de control	Página 2
Constantes para gráficas de control	Página 3
Entendiendo la variación	Página 5
Control de Proceso X-R	Página 6
Capacidad del proceso	Página 8

Mitutoyo Mexicana, S.A. de C.V.

Oficinas de servicio:

Naucalpan: ingenieria@mitutoyo.com.mx

Monterrey: m3scmtv@mitutoyo.com.mx

Aguascalientes: mitutoyoags@mitutoyo.com.mx

Querétaro: mitutoyoqro@mitutoyo.com.mx

Tijuana: Mitutoyotj@mitutoyo.com.mx

Colaboradores de este número

Ing. José Ramón Zeleny Vázquez

Ing. Hugo D. Labastida Jiménez

Ing. Héctor Ceballos Contreras

Tabla 2. Formulas para gráficas de control

Gráfica (Símbolo)	Fórmula		
	$\bar{X} - R$	$\bar{X} - S$	$\bar{X} - Rs$
\bar{X}	$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$ *1		$\bar{X} = \frac{\sum X_k}{m}$
R, S ó Rs	$R = \text{MAX}(X_i) - \text{MIN}(X_i)$	$S = \sqrt{\frac{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}{n(n-1)}}$	$Rsk = x_k + 1 - X_k$
$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum Xk}{m}$		-----
R, S ó Rs	$\bar{R} = \frac{\sum Rk}{m}$	$\bar{S} = \frac{\sum Sk}{m}$	$\bar{Rs} = \frac{\sum Rsk}{m-1}$
X-UCL X-LCL	$\bar{X} - UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$	$\bar{X} - UCL = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{S}$	$\bar{X} - UCL = \bar{\bar{X}} + 2.659 \bar{Rs}$
X-LCL X-LCL	$\bar{X} - LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$	$\bar{X} - LCL = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{S}$	$\bar{X} - LCL = -2.659 \bar{Rs}$
R-UCL S-UCL Rs-UCL	$R - UCL = D_4 \bar{R}$	$S - UCL = B_4 \bar{S}$	$RS - UCL = 3.267 \bar{Rs}$
R-LCL S-LCL	$R - LCL = D_3 \bar{R}$ *2	$S - LCL = B_3 \bar{S}$ *3	-----

Para la Tabla 1

*1: USL: Límite superior de la tolerancia, LSL: Límite inferior de la tolerancia

*2: Zmin: Z_{USL} o Z_{LSL} cualquiera que sea el menor

$$Z_{USL} = \frac{USL - \bar{X}}{\sigma \text{ ó } \sigma(n-1)} \quad Z_{LSL} = \frac{\bar{X} - LSL}{\sigma \text{ ó } \sigma(n-1)}$$

*3: +NG o -NG es el número de defectivos.

*4: "****" es graficado para Cp, Cpk, Cm, Cmk y Pe cuando $\sigma(R)$, $\sigma(S)$, $\sigma(n-1) = 0$

*5: Los valores de Cpk, Cmk y Pe no son garantizados en el, caso de $X > USL$ o $X < LSL$

Para la tabla 2

*1: n = tamaño de muestra

m = número de subgrupos

j = entre 1 y n

k = entre 1 y m

*2: R-LCL es calculado cuando el tamaño de la muestra es mayor que 7

*3: S-LCL es calculado cuando el tamaño de muestra e mayor que 6



Tabla 3 Constantes para gráficas de control

Tamaño de muestra n	\bar{X} -R				\bar{X} -s			
	A ₂	d ₂	D ₃	D ₄	A ₃	C ₄	B ₃	B ₄
2	1.880	1.128	-	3.267	2.659	0.7979	-	3.267
3	1.023	1.693	-	2.574	1.954	0.8862	.	2.568
4	0.729	2.059	-	2.282	1.628	0.9213	-	2.266
5	0.577	2.326	-	2.114	1.427	0.9400	-	2.089
6	0.483	2.534	-	2.004	1.287	0.9515	0.030	1.970
7	0.419	2.704	0.076	1.924	1.182	0.9594	0.118	1.882
8	0.373	3.847	0.136	1.864	1.099	0.9650	0.185	1.815
9	0.337	2.970	0.184	1.816	1.032	0.9693	0.239	1.761
10	0.308	3.078	0.223	1.777	0.975	0.9727	0.284	1.716
11	0.285	3.173	0.256	1.744	0.927	0.9754	0.321	1.679
12	0.266	3.258	0.283	1.717	0.886	0.9776	0.354	1.646
13	0.249	3.336	0.307	1.693	0.850	0.9794	0.382	1.618
14	0.235	3.407	0.328	1.672	0.817	0.9810	0.406	1.594
15	0.223	3.472	0.347	1.653	0.789	0.9823	0.428	1.572
16	0.212	3.532	0.363	1.637	0.763	0.9835	0.448	1.552
17	0.203	3.588	0.378	1.622	0.739	0.9845	0.466	1.534
18	0.194	3.640	0.391	1.608	0.718	0.9854	0.482	1.518
19	0.187	3.689	0.403	1.597	0.698	0.9862	0.497	1.503
20	0.180	3.735	0.415	1.585	0.680	0.9869	0.510	1.490
21	0.173	3.778	0.425	1.575	0.663	0.9876	0.523	1.477
22	0.167	3.819	0.435	1.566	0.647	0.9882	0.534	1.466
23	0.162	3.858	0.443	1.557	0.633	0.9887	0.545	1.495
24	0.157	3.895	0.451	1.548	0.619	0.9892	0.555	1.445
25	0.153	3.931	0.459	1.541	0.606	0.9896	0.565	1.435

Mitutoyo
Servicio de Mantenimiento y Reparación
De Medidores de Altura

*Reparaciones originales
Mano de obra profesional
Revisiones sin costo*

Reparaciones desde \$1,850.00 pesos

-50%
Sobre Precio de lista
Vig. May-Sep

No aplica para Medidores
De Alturas de la serie 512

**Promoción
De Altura**

Departamento de Reparación
Mitutoyo Mexicana
TEL. (0155) 5312-5612 Ext. 320 y 321
FAX. (0155) 2452-9593
reparacion@mitutoyo.com.mx

CENAM
CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA

**SIMPÓSIO
METROLOGÍA**
La metrología, la productividad y el desarrollo económico

**MÉXICO
2010**
Presidencia: CENAM
Organiza: CENAM

Octubre 27, 28 y 29
Santiago de Querétaro, Qro., México

K mol A kg m cd s

<http://www.cenam.mx/simpósio2010>



Nuevo servicio de calibración de patrones de rugosidad

\$ 200 USD

SERVICIO DE CALIBRACIÓN

\$ 120 USD

ACREDITADO

Nuevo curso de introducción a la
Metrología Dimensional 8h
Noviembre 4 Naucalpan \$ 2100 mas IVA

INSTRUMENTOS PARA METROLOGÍA DIMENSIONAL

Utilización, Mantenimiento y Cuidados

Mitutoyo Mexicana, S.A. de C.V. a través de su departamento de ingeniería de servicio tiene disponible servicio de medición de piezas, para lo cual cuenta con variedad de equipo, tal como Máquinas de Medición por Coordenadas (CMM), equipo de medición por visión (QV, QS, QI), máquina de medición de redondez y otras características geométricas, equipo de medición de contorno (perfil), máquinas de medición de dureza, equipo de medición de rugosidad, comparadores ópticos y microscopios, lo cual permite una gran variedad de opciones para resolver eficientemente cualquier tipo de medición dimensional.



Se requiere dibujo o modelo CAD o instrucciones detalladas de, que es lo que se desea medir para obtener una cotización y acordar tiempo de entrega. Este servicio se ofrece con trazabilidad a patrones nacionales de longitud. Se entrega reporte de medición.

CONTRATO DE CALIBRACION DE EQUIPO MAYOR

Incluye 20% de descuento en refacciones y en servicio de reparación durante la vigencia del contrato

Prioridad en programación

Sin gastos de viaje dentro de un radio de 50 km desde nuestros centros de servicio

PAQUETES DE CALIBRACIÓN

3 equipos 10%

6 equipos 15%

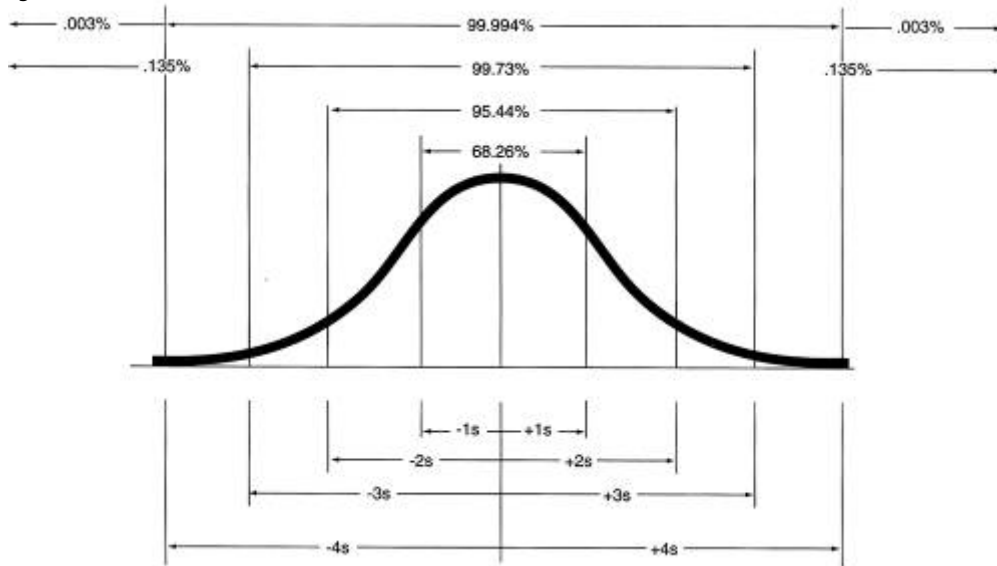
Más de 6 equipos 20%

Condiciones sujetas a cambio sin previo aviso

de descuento

Uso de software de Inspección original de Mitutoyo

Porcentajes de la distribución normal



Calibración automática de bloques patrón



Calibración automática/semiautomática de indicadores

Calibración de anillos patrón de 6 a 120 mm con máquina que incorpora una holo escala láser con resolución de $0,1 \mu\text{m}$ y repetibilidad de $0,2 \mu\text{m}$

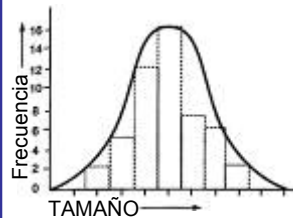
SERVICIOS ACREDITADOS



calibracion@mitutoyo.com.mx

Pregunte por nuestros cursos sobre uso de software específico para equipo de medición
ingenieria@mitutoyo.com.mx

ENTENDIENDO LA VARIACIÓN



Curva de frecuencia suavizada

Los histogramas muestran rápidamente si la variación en los resultados está formando un patrón definido.

Si dibujamos una curva suave a través de lo alto de cada barra del histograma, obtenemos un patrón en forma de campana.

Los patrones de variación que siguen los principios de la distribución normal pueden ser descritos por su LOCALIZACIÓN y DISPERSIÓN como sigue:

En la figura 1 el patrón de variación en las dos curvas con forma de campana A y B son idénticas. Sin embargo, el valor central del tamaño ocurriendo más frecuentemente en cada curva es diferente.

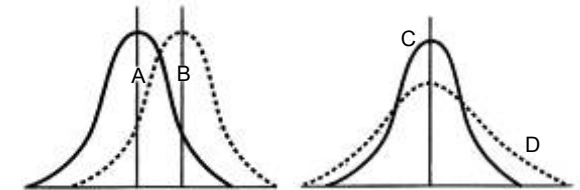


Figura 1

Figura 2

En la figura 2 el valor central de las dos curvas con forma de campana C y D es el mismo pero la dispersión de la variación de la curva D es mayor que la curva C

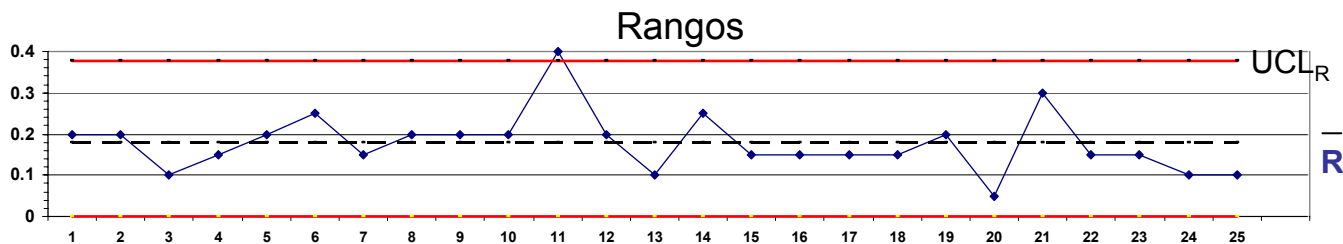
CONTROL DE PROCESO \bar{X} y R

Registre 25 conjuntos de 5 lecturas consecutivas a intervalos regulares, calcular \bar{X} y R para cada conjunto de lecturas.

Para interpretar grafica de rangos para control

Grafique los 25 puntos de los rangos (R) sobre la grafica de rangos

$$\text{Calcular } \bar{R} = \frac{\text{Suma de los 25 Rangos (R)}}{25}$$



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
X	.70	.77	.76	.60	.75	.73	.73	.72	.78	.87	.75	.76	.72	.71	.72	.76	.76	.67	.70	.62	.66	.68	.70	.64	.66
R	.20	.20	.10	.15	.20	.20	.15	.20	.20	.20	.40	.20	.05	.25	.15	.15	.15	.10	.20	.00	.00	.20	.16	.10	.10

Rangos

$$\bar{R} = \frac{4.45}{25} = .178$$

Calcular los límites de control para rangos

$$UCL_R = D_4 \times \bar{R} \quad LCL_R = D_3 \times \bar{R}$$

Tamaño de muestra	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_4	3.27	2.57	2.28	2.11	2.00	1.92	1.86	1.82	1.78
D_3	0	0	0	0	0	0.08	0.14	0.18	0.22

NOTA: Para tamaños de muestra de 2 a 6 el $LCL_R = 0$

$$UCL_R = 2.11 \times .178 = .376$$

Grafique \bar{R} , UCL_R y LCL_R sobre la gráfica

Interpretar la gráfica de control aplicando las siguientes pruebas

- 1) Número de puntos fuera de los límites de control
- 2) 2/3 de puntos en el centro 1/3 de puntos cerca de los límites de control
- 3) No hay una corrida de 7 puntos consecutivos todos arriba o debajo de la línea de R
- 4) No hay una corrida de 8 puntos consecutivos hacia arriba o hacia abajo

Si alguno de las 4 pruebas anteriores falla, el proceso esta fuera de control para rangos.

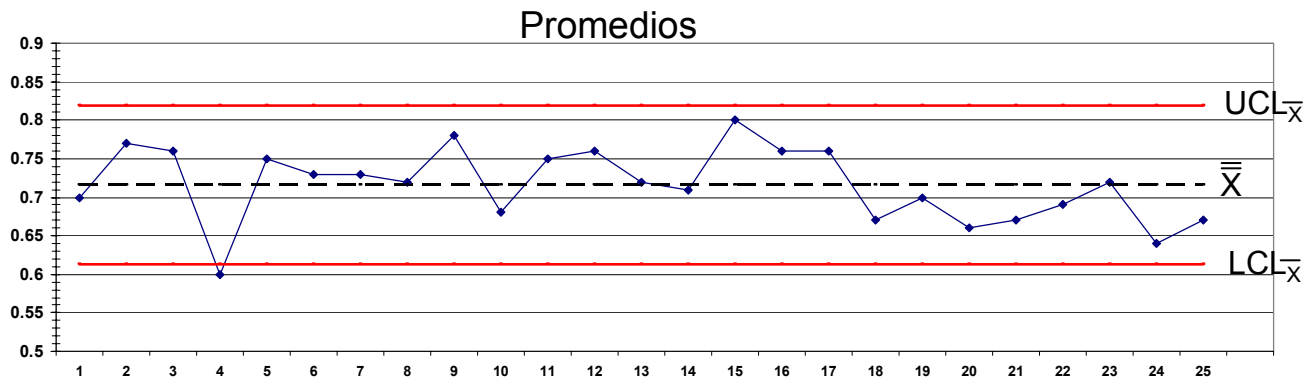
Investigar para causas especiales y corregir

Si se pasan todas las 4 pruebas, interpretar la gráfica \bar{X}

Para interpretar las gráficas de control de promedios (X)

Grafique los 25 puntos de los promedios (X) sobre la gráfica de promedios

$$\text{Calcular } \bar{\bar{X}} = \frac{\text{Suma de los 25 Promedios } (\bar{X})}{25}$$



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
\bar{X}	.70	.77	.76	.60	.75	.73	.73	.72	.78	.87	.75	.76	.72	.71	.72	.76	.76	.67	.70	.62	.66	.68	.70	.64	.66
R	.20	.20	.10	.15	.20	.20	.15	.20	.20	.20	.40	.20	.05	.25	.15	.15	.15	.10	.20	.00	.00	.20	.16	.10	.10

$$\bar{\bar{X}} = \frac{17.90}{25} = .716$$

Calcular los límites de control para promedios

Tamaño de muestra	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A_2	1.88	1.02	0.73	0.58	0.48	0.42	0.37	0.34	0.31

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + (A_2 \times \bar{R}) \quad LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - (A_2 \times \bar{R})$$

$$UCL_{\bar{X}} = .716 + (0.58 \times .178) = .819$$

$$LCL_{\bar{X}} = .716 - (0.58 \times .178) = .613$$

Graficar \bar{X} , UCL y LCL en la gráfica

Interpretar la gráfica para control aplicando las siguientes pruebas

- 1) Ningún punto fuera de los límites de control
- 2) 2/3 de puntos en el centro 1/3 de puntos cerca de los límites de control
- 3) No hay una corrida de 7 puntos consecutivos todos arriba o debajo de la línea de \bar{X}
- 4) No hay una corrida de 8 puntos consecutivos hacia arriba o hacia abajo

Si alguno de las 4 pruebas anteriores falla, el proceso esta fuera de control para promedios.

Investigar para causas especiales y corregir

Si se pasan todas las 4 pruebas, el proceso esta en control para promedios y rangos.

Capacidad de proceso

Considerando que el proceso esta en control tanto para X y R ó X y S la desviación del proceso s puede ser calculada por cualquiera de las siguientes formas:

$$\text{Para } \bar{X}\text{-R } \hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{.178}{2.33} = 0.0769$$

$$\text{Para } \bar{X}\text{-S } \hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{c_4}$$

$$\text{Cp - Capacidad de proceso} = \frac{USL - \bar{X}}{6\hat{\sigma}}$$

Cp - Índice de capacidad = mínimo de

$$\frac{USL - \bar{X}}{6\hat{\sigma}} \text{ y } \frac{\bar{X} - USL}{3\hat{\sigma}}$$

Un proceso con Cpk de 1= Proceso capaz a $\pm 3\hat{\sigma}$

Un proceso con Cpk de 1.33 = Proceso capaz a $\pm 4\hat{\sigma}$

Gráficas de control por variables

$$\text{Media de subgrupo } \bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

$$\text{Rango de subgrupo } R = X_{\text{mayor}} - X_{\text{menor}}^n$$

$$\text{Desviación estándar de subgrupo } \bar{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

(X es el valor medido, n es el número de valores)

$$\text{Media del proceso } \bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_m}{m}$$

$$\text{Media de rangos } \bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m}$$

$$\text{Desviación estándar de la media } \bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_m}{m}$$

(m es el número de subgrupos)

$$UCL_{\bar{X}}, LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \pm (A_2)\bar{R}$$

$$UCL_R = (D_4)(\bar{R})$$

$$LCL_R = (D_3)\bar{R} \text{ (si } n > 6)$$

$$UCLs = (B_4)\bar{s}$$

$$LCLs = (B_3)\bar{s} \text{ (si } n > 5)$$

PROXIMOS CURSOS

INSTITUTO DE METROLOGÍA MITUTOYO

Metrología Dimensional 1 (MD1)	08-09 Noviembre Naucalpan	\$ 4300 más IVA
Metrología Dimensional 2 (MD2)	10-11-12 Noviembre Naucalpan	\$ 6200 más IVA
Calibración de Instrumentos (CIVGP)	22-23-24 Noviembre Naucalpan	\$ 6600 más IVA
Control Estadístico del Proceso (CEP)	02-03 Septiembre Naucalpan	\$ 4300 más IVA
Tolerancias Geométricas Norma ASME Y14.5-2009	25-26 Noviembre Naucalpan 13-14-15 Septiembre Tijuana 24-25-26 Noviembre Monterrey	\$ 7500 más IVA
Especificación y Verificación Geométrica de Producto	10 Septiembre Naucalpan	\$ 5100 más IVA
Incertidumbre en Metrología Dimensional	20-21-22 Septiembre Naucalpan 06-07-08 Diciembre Naucalpan	\$ 6200 más IVA
Análisis de Sistemas de Medición (MSA)	23-24 Septiembre Naucalpan 30 Sep-01 Oct Monterrey 11-12 Noviembre Tijuana	\$ 4400 más IVA
Aplicación de ISO 17025 en Laboratorios de Calibración	27-28-29 Septiembre Naucalpan 08-09-10 Noviembre Tijuana	\$ 6200 más IVA
Verificación Geométrica de Producto con CMM	29 Septiembre Naucalpan	\$ 2100 más IVA
Medición de Acabado Superficial para Verificación Geométrica de Producto	30 Septiembre Naucalpan	\$ 2100 más IVA
Equipo Óptico y láser para Verificación Geométrica de Producto sin contacto	01 Octubre Naucalpan	\$ 2100 más IVA
Cualquiera de los cursos anteriores en sus instalaciones	Fechas de común acuerdo pedir cotización	

Informes e inscripciones: capacitacion@mitutoyo.com.mx

Tel: (0155) 5312 5612 www.mitutoyo.com.mx