

## Estadística Aplicada en el Control de Calidad

En el presente artículo se ilustra el desarrollo de diversos métodos estadísticos para orientar el Control de Calidad en la metalmecánica hacia una fundamentación más científica que permita regular el proceso de fabricación de maquinaria en una forma más eficaz y racional.

Se señala que el método pasivo, determinación de las curvas de distribución, es muy dispendioso y costoso y además se realiza después del proceso de fabricación.

De igual manera se presta especial atención a la etapa más reciente y promisoría de los métodos estadísticos aplicados al Control de Calidad que consiste en la construcción de los diagramas puntuales y gráficas de precisión. Este nuevo enfoque posibilita hacer más coherente y efectivo el proceso de control en relación al rendimiento económico del proceso de fabricación.

Este artículo es útil para los ingenieros y también tiene aplicación directa en la industria.

**ERNESTO CORDOBA**

Ingeniero Mecánico

Con Especialización en diseño y tecnología de máquinas-herramientas.

Universidad de la Amistad Moscú - U.R.S.S.

La importancia de la estadística para la Metalmecánica radica en la posibilidad de ponderar acertadamente el parámetro técnico-económico de calidad que se establece en el proceso de diseño, de elaboración, de control de calidad, del ensamble y durante la operación de las máquinas-herramientas.

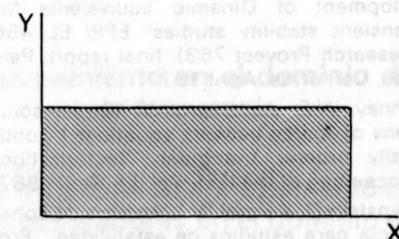
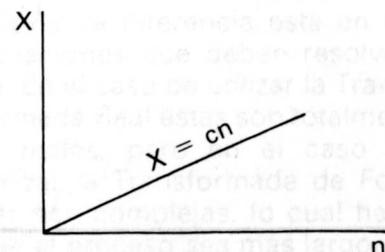
Los métodos estadísticos aplicados en la Metalmecánica permiten conocer el real comportamiento de los errores transmitidos a la máquina por los procesos tecnológicos arriba señalados, tanto en su magnitud como en relación con el tiempo. De igual manera posibilitan desentrañar las causas físicas de los errores y la interrelación de los factores sistemáticos y aleatorios. Esta evaluación integral nos permite adoptar correctivos de tipo tecnológico y de diseño que mejoran la precisión y calidad de las máquinas-herramientas.

Es necesario señalar que el anterior análisis será objetivo y fructífero si se observa un tratamiento sistémico del problema. Es decir,

que se requiere relacionar todas las etapas por las que pasa la máquina-herramienta: la materia prima, el proceso de fabricación, el control de calidad, el proceso de ensamble y finalmente el ciclo de operación que incluye el mantenimiento.

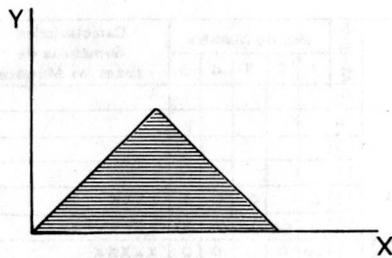
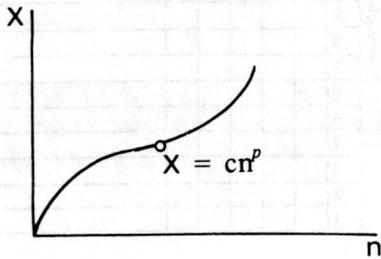
### Ejemplos de aplicación de curvas de distribución

#### 1- Distribución Uniforme Probabilidad Igualitaria

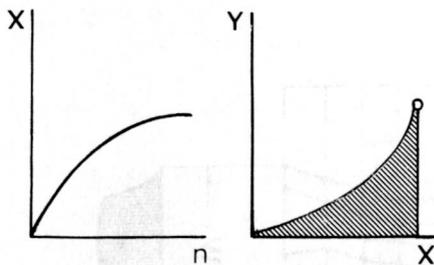


Cuando sobre la medida que se ejecuta actúa un error sistemático que crece continua y uniformemente. Esta aberración puede ser provocada por el desgaste de herramienta que sigue la ley de una recta. Esto repercute en el paulatino incremento del error en función del número de piezas elaboradas.

**2- Ley de Simpson**

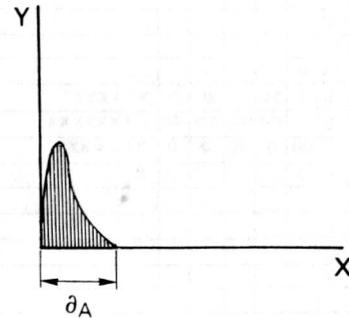
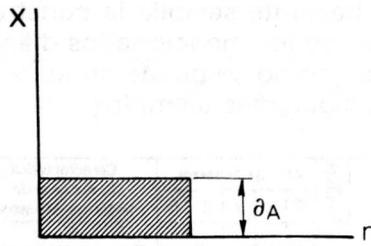


Si sobre la medida influye un error sistemático que en un comienzo crece suavemente y posteriormente en forma brusca. Este fenómeno tiene lugar cuando simultáneamente actúa el desgaste lineal de la herramienta, con un fuerte desgaste inicial, y el incremento notorio de las fuerzas de corte al final de periodo de durabilidad de la herramienta.



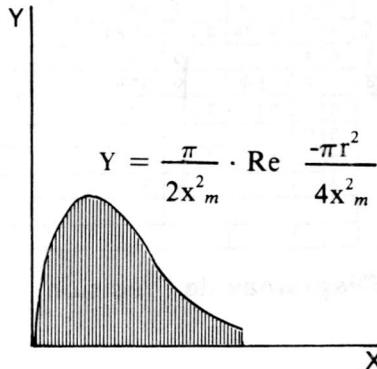
La medida varía en dependencia del tiempo, que se intercepta por el número de piezas elaboradas. Esto puede darse por la deformación térmica del sistema tecnológico.

La curva de distribución se desfasa del punto medio del campo de tolerancias y por esto resulta asimétrica y similar a la Ley de Charly. Este comportamiento se observa en el proceso de fabrica-



ción cuando se utiliza el método de "pasadas de prueba", debido a que el operario procura obtener el máximo valor permisible de la medida y para ello utiliza el "lado pasante" del calibre de control.

**3- Ley de la exentricidad Ley de Reley**

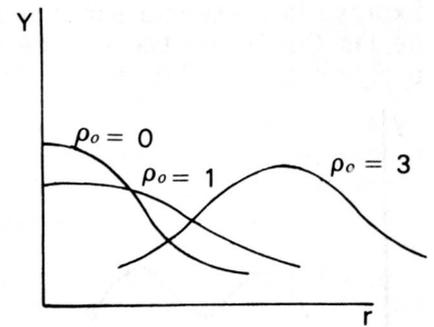


Representa la curva de distribución de los excéntricos en piezas cilíndricas con múltiples escalones.

Con esta ley también se puede interpretar el comportamiento de las aberraciones de perpendicularidad y paralelismo de dos superficies, la desviación del eje del orificio en relación con la perpendicular a la superficie de tope, la desuniformidad de la pared de piezas huecas.

En síntesis la ley de Reley expresa la distribución de las aberraciones en relación a la forma y disposición recíproca de superficies.

Representa la ley de distribución del modulo de la diferencia de dos magnitudes aleatorias,  $X_1, X_2$ .



que poseen una distribución normal. Con esta ley se expresa la asimetría de superficies, el no paralelismo de las superficies planas, la variación del paso de la rosca y otras aberraciones geométricas.

$\eta = |X_1 - X_2|$        $\rho = \eta/G$

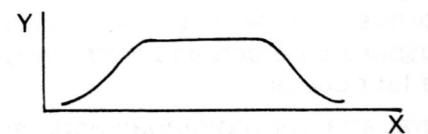
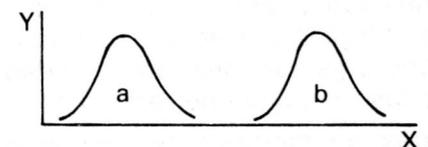
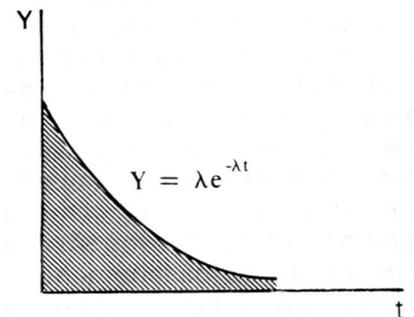
$\rho_o = \frac{X_{m1} - X_{m2}}{G_o}$

$Y = \sqrt{2\pi} e^{-\frac{(\rho - \rho_o)^2}{2}}$

Para  $\rho_o = 1$ , tenemos la curva de distribución de la arredondez.

Para  $\rho_o = 0$  la curva resulta asimétrica

Para  $\rho_o = 3$  tenemos la curva de Gauss.



Expresa la falla en el trabajo de la maquinaria, del conjunto de la pieza en particular.

$\lambda$  intensidad de las fallas.  
t - tiempo de trabajo.

Esta curva interpreta el índice de confiabilidad o seguridad del conjunto y/o de la pieza.

El caso **b** refleja la acción combinada de un error aleatorio con otro sistemático y constante.

Expresa la presencia simultánea de las Curvas de Gauss y de la probabilidad igualitaria.



Esta curva de distribución tiene lugar en el proceso de fabricación de dos idénticos lotes de piezas, elaborados con diferentes ajustes tecnológicos de la máquina.

Para diversos arreglos tecnológicos de la máquina se obtiene una curva con múltiples vértices. Cuando se tiene un gran número de ajustes tecnológicos la curva adquiere la forma de la distribución normal, pero con una amplísima fase.

La investigación estadística fundamentada en la construcción de las curvas de distribución es un método sencillo para evaluar la calidad de fabricación de maquinaria en función de diversos factores tecnológicos. Pero este procedimiento tiene serias deficiencias, como la imposibilidad de desentrañar la esencia física de los fenómenos y factores que influyen sobre la precisión y también la dificultad de adoptar correctivos técnicos concretos que mejoren la calidad de las máquinas-herramientas.

Estas limitaciones se generan porque la evaluación se realiza después de efectuado el proceso de fabricación.

Para analizar continuamente el proceso y con ello plasmar su historia se utilizan los diagramas puntiformes y de precisión. Este nuevo enfoque permite desarrollar el control estadístico de calidad y a su vez se impiden los desechos de fabricación.

Con los diagramas puntiformes y de precisión se pueden definir vitales parámetros de la calidad del proceso tecnológico, como su estabilidad y grado de ajuste.

Es bastante sencilla la construcción de los mencionados diagramas, como se puede apreciar en los siguientes ejemplos:

Medida	No. de Muestra					Característica Sumatoria de todas las Muestras
	1	2	3	4	5	
15						
14						
13						
12						
11						
10	0			0		xx
9	0	00	0	0	0	xxxxxx
8		00	00	00	00	xxxxxxxx
7	00	0	00	0	0	xxxxxxxx
6	0					x
5						
4						
3						
2						
1						

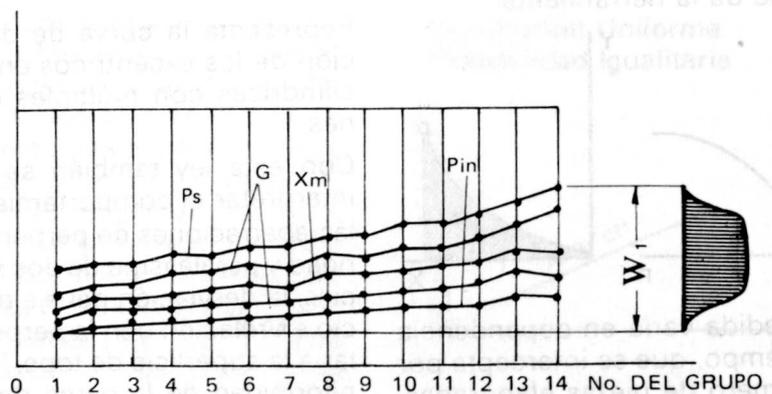
**A. Gráficas Puntiformes**

Medida	No. de Muestra					Característica Sumatoria de todas las Muestras
	1	2	3	4	5	
15	0					x
14	0	00	0	0	0	xxxxxx
13	00	00	000	00	00	xxxxxxxxxx
12	00	0	0	00	0	xxxxxxxx
11					0	x
10						
9						
8						
7						
6						
5						
4						
3						
2						
1						

Medida	No. de Muestra					Característica Sumatoria de todas las Muestras
	1	2	3	4	5	
15						
14						
13		0		0		xx
12	0		0	0	0	xxxx
11		0				x
10	0		0		0	xxx
9		0	00	0		xxxx
8	0				0	xx
7	0		0		0	xxx
6		0		0		xx
5	0					x
4		0		0		xx
3					0	x
2						
1						

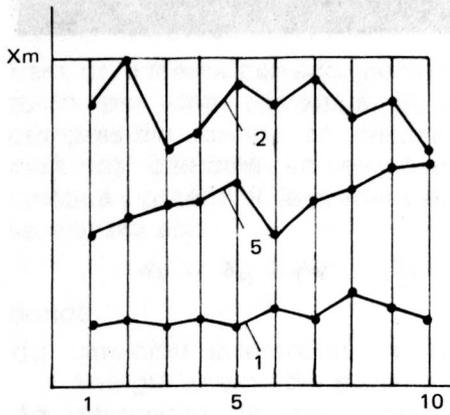
Medida	No. de Muestra					Característica Sumatoria de todas las Muestras
	1	2	3	4	5	
15						
14						
13						
12						
11	0		0	0	0	xxxx
10	0	00	00	00	00	xxxxxxxxxx
9	00	0		0	0	xxxxx
8		00	00			xxxx
7				0	0	xx
6						
5						
4						
3						
2						
1						

**B. Diagramas de Precisión**

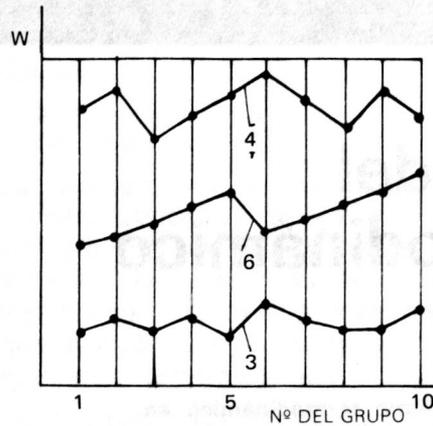


Los gráficos puntiformes se transforman en diagramas de precisión, si para cada uno de la serie de lotes de piezas se determinan las siguientes magnitudes: valor medio aritmético  $X_m$ , el error medio cuadrático  $G$ , las desviaciones superior e inferior

$\rho_s$  y  $\rho_{in}$  del valor  $X_m$  y el campo de dispersión  $W_i$ . Teniendo en cuenta que los lotes de piezas que se controlan conforman una serie, es obvio que con los diagramas de precisión se observa el comportamiento de las magnitudes  $X_m$ ,  $\rho_s$ ,  $\rho_{in}$  y  $W_i$  en función del tiempo.



Para las curvas anteriores podemos decir que los casos típicos de variación de las magnitudes  $X_m$  y



$W$  son: a- La combinación de las curvas 1 y 3 reflejan un proceso tecnológico estable y ajustado, b-

Las curvas 2 y 3 muestran un proceso estable pero desajustado, c- Las curvas 2 y 4 señalan un proceso inestable y desajustado, d- Las curvas 5 y 6 representan un proceso cíclicamente ajustado y estable.

La ponderación objetiva del grado de estabilidad y ajuste del proceso se realiza comparando las amplitudes de variación de las magnitudes  $X_m$  y  $W$  con el valor del campo de tolerancias  $\delta$ . Se considera que el proceso tecnológico es estable y ajustado si se constata que  $(X_m \text{ y } W) \leq (0,4 + 0,5) \delta$

#### BIBLIOGRAFIA

1. Danilievsky V.V. Tecnología de la Construcción de Maquinaria. Moscú. 1977.
2. Korsakov V. S., Fundamentos de Tecnología en la Construcción de Maquinaria. Moscú. 1977.
3. Bnrger I.A., Diagnóstico Técnico (de la serie confiabilidad y calidad). Moscú. 1978.
4. Ernesto Córdoba N., Ahorro de Energía en la Metalmecánica. Bogotá. 1981.