

# Contenido

---

## CAPÍTULO 1

### El mejoramiento de calidad en el ambiente moderno de los negocios 1

- 1-1 Significado de calidad y de mejoramiento de calidad 2
  - 1-1.1 Dimensiones de la calidad 2
  - 1-1.2 Terminología de la ingeniería de calidad 6
- 1-2 Breve historia del control y mejoramiento de calidad 8
- 1-3 Métodos estadísticos de control y mejoramiento de calidad 12
- 1-4 Otros aspectos del control y mejoramiento de calidad 17
  - 1-4.1 Filosofía de calidad y estrategias de administración 18
  - 1-4.2 La conexión entre calidad y productividad 25
  - 1-4.3 Costos de la calidad 26
  - 1-4.4 Aspectos legales de la calidad 32
  - 1-4.5 Implementación del mejoramiento de calidad 34

---

## PARTE I

### Métodos estadísticos útiles en el mejoramiento de calidad 37

---

## CAPÍTULO 2

### Modelado de la calidad del proceso 39

- 2-1 Descripción de la variación 40
  - 2-1.1 Diagrama de tallo y hoja 40

- 2-1.2 Distribución de frecuencia y el histograma 43
- 2-1.3 Resumen numérico de datos 45
- 2-1.4 Diagrama de caja 48
- 2-1.5 Muestra de una salida de computadora 49
- 2-1.6 Distribuciones de probabilidad 51
- 2-2 Distribuciones discretas importantes 56
  - 2-2.1 Distribución hipergeométrica 56
  - 2-2.2 Distribución binomial 58
  - 2-2.3 Distribución de Poisson 60
  - 2-2.4 Distribución de Pascal y otras distribuciones relacionadas 61
- 2-3 Distribuciones continuas importantes 62
  - 2-3.1 Distribución normal 63
  - 2-3.2 Distribución exponencial 69
  - 2-3.3 Distribución gamma 71
  - 2-3.4 Distribución de Weibull 73
- 2-4 Algunas aproximaciones útiles 74
  - 2-4.1 Aproximación binomial de la distribución hipergeométrica 75
  - 2-4.2 Aproximación de Poisson de la distribución binomial 75
  - 2-4.3 Aproximación normal de la distribución binomial 75
  - 2-4.4 Comentarios sobre las aproximaciones 76
- 2-5 Ejercicios 77

## CAPÍTULO 3

### Inferencias sobre la calidad del proceso 82

- 3-1 Los estadísticos y las distribuciones de muestreo 83
  - 3-1.1 Muestreo de una distribución normal 85

- 3-1.2 Muestreo de una distribución de Bernoulli    **89**
- 3-1.3 Muestreo de una distribución de Poisson    **89**
- 3-2 Estimación puntual de parámetros de procesos    **90**
- 3-3 Inferencia estadística para una sola muestra    **93**
  - 3-3.1 Inferencia de la media de una población, varianza conocida    **94**
  - 3-3.2 El uso de valores  $P$  para probar hipótesis    **98**
  - 3-3.3 Inferencia de la media de una distribución normal, varianza desconocida    **99**
  - 3-3.4 Inferencia de la varianza de una distribución normal    **103**
  - 3-3.5 Inferencia de una proporción poblacional    **105**
  - 3-3.6 La probabilidad del error tipo II    **107**
  - 3-3.7 Graficación de probabilidades    **110**
- 3-4 Inferencia estadística para dos muestras    **114**
  - 3-4.1 Inferencia para una diferencia de medias, varianzas conocidas    **114**
  - 3-4.2 Inferencia para una diferencia de medias de dos distribuciones normales, varianzas desconocidas    **117**
  - 3-4.3 Inferencia de las varianzas de dos distribuciones normales    **127**
  - 3-4.4 Inferencia de las proporciones de dos poblaciones    **128**
- 3-5 ¿Qué ocurre cuando hay más de dos poblaciones? El análisis de varianza    **130**
  - 3-5.1 Un ejemplo    **131**
  - 3-5.2 El análisis de varianza    **133**
  - 3-5.3 Verificación de supuestos: análisis de residuales    **140**
- 3-6 Ejercicios    **142**

- 4-3 Fundamentos estadísticos de la carta de control    **156**
  - 4-3.1 Principios básicos    **156**
  - 4-3.2 Elección de los límites de control    **164**
  - 4-3.3 Tamaño de la muestra y frecuencia del muestreo    **166**
  - 4-3.4 Subgrupos racionales    **170**
  - 4-3.5 Análisis de patrones en cartas de control    **172**
  - 4-3.6 Discusión de las reglas de sensibilización para cartas de control    **175**
- 4-4 El resto de las "siete magníficas"    **177**
- 4-5 Implementación del SPC    **184**
- 4-6 Una aplicación del SPC    **186**
- 4-7 Aplicaciones del control estadístico de procesos fuera de la manufactura    **193**
- 4-8 Ejercicios    **201**

**CAPÍTULO 5**

**Cartas de control para variables    206**

- 5-1 Introducción    **207**
- 5-2 Cartas de control para  $\bar{x}$  y  $R$     **207**
  - 5-2.1 Fundamentos estadísticos de las cartas    **207**
  - 5-2.2 Desarrollo y uso de las cartas  $\bar{x}$  y  $R$     **212**
  - 5-2.3 Cartas basadas en valores estándares    **228**
  - 5-2.4 Interpretación de las cartas  $\bar{x}$  y  $R$     **229**
  - 5-2.5 El efecto del incumplimiento de la normalidad en las cartas  $\bar{x}$  y  $R$     **232**
  - 5-2.6 La función de operación característica    **233**
  - 5-2.7 La longitud promedio de la corrida para la carta  $\bar{x}$     **236**
- 5-3 Cartas de control para  $\bar{x}$  y  $S$     **239**
  - 5-3.1 Construcción y operación de las cartas  $\bar{x}$  y  $S$     **239**
  - 5-3.2 Las cartas de control  $\bar{x}$  y  $S$  con tamaño de la muestra variable    **244**
  - 5-3.3 La carta de control  $S^2$     **248**
- 5-4 La carta de control de Shewhart para mediciones individuales    **249**
- 5-5 Resumen de procedimientos para las cartas  $\bar{x}$ ,  $R$  y  $S$     **260**
- 5-6 Aplicaciones de las cartas de control para variables    **260**
- 5-7 Ejercicios    **265**

---

**PARTE II**

**Métodos básicos de control estadístico de procesos y análisis de capacidad de procesos    151**

---

**CAPÍTULO 4**

**Métodos y filosofía del control estadístico de procesos    153**

- 4-1 Introducción    **154**
- 4-2 Causas fortuitas y asignables de la variación de la calidad    **154**

**CAPÍTULO 6****Cartas de control para atributos 283**

- 6-1 Introducción 284
- 6-2 La carta de control para la fracción disconforme 284
  - 6-2.1 Desarrollo y operación de la carta de control 286
  - 6-2.2 Tamaño de la muestra variable 298
  - 6-2.3 Aplicaciones fuera de la manufactura 303
  - 6-2.4 La función de operación característica y el cálculo de la longitud promedio de la corrida 305
- 6-3 Cartas de control para disconformidades (defectos) 308
  - 6-3.1 Procedimientos con tamaño de la muestra constante 308
  - 6-3.2 Procedimientos con tamaño de la muestra variable 319
  - 6-3.3 Sistemas de demérito 322
  - 6-3.4 La función de operación característica 324
  - 6-3.5 Tratamiento con los niveles de defectos bajos 325
  - 6-3.6 Aplicaciones fuera de la manufactura 328
- 6-4 Elección entre cartas de control para atributos y para variables 329
- 6-5 Lineamientos para implementar cartas de control 333
- 6-6 Ejercicios 339

**CAPÍTULO 7****Análisis de capacidad del proceso y de sistemas de medición 349**

- 7-1 Introducción 350
- 7-2 Análisis de capacidad del proceso utilizando un histograma o una gráfica de probabilidad 352
  - 7-2.1 Utilizando un histograma 352
  - 7-2.2 Graficación de probabilidades 355
- 7-3 Índices de capacidad del proceso 357
  - 7-3.1 Uso e interpretación de  $C_p$  357
  - 7-3.2 Índice de capacidad del proceso para un proceso fuera del centro 362
  - 7-3.3 La normalidad y el índice de capacidad del proceso 364

7-3.4 Más acerca del centrado de procesos 365

7-3.5 Intervalos de confianza y pruebas para los índices de capacidad del proceso 367

7-4 Análisis de capacidad del proceso usando una carta de control 373

7-5 Análisis de capacidad del proceso usando experimentos diseñados 376

7-6 Estudios de capacidad de instrumentos y sistemas de medición 377

7-6.1 Cartas de control y métodos tabulares 377

7-6.2 Métodos basados en el análisis de varianza 384

7-7 Establecimiento de los límites de las especificación para componentes discretos 388

7-7.1 Combinaciones lineales 388

7-7.2 Combinaciones no lineales 392

7-8 Estimación de los límites de tolerancia natural de un proceso 394

7-8.1 Límites de tolerancia basados en la distribución normal 395

7-8.2 Límites de tolerancia no paramétricos 396

7-9 Ejercicios 397

---

**PARTE III****Otras técnicas de monitoreo y control estadístico de procesos 403**

---

**CAPÍTULO 8****Cartas de control de suma acumulada y de promedio móvil ponderado exponencialmente 405**

- 8-1 La carta de control de suma acumulada 406
  - 8-1.1 Principios básicos: la carta de control cusum para monitorear la media del proceso 406
  - 8-1.2 La cusum tabular o algorítmica para monitorear la media del proceso 410
  - 8-1.3 Recomendaciones para el diseño de la cusum 415
  - 8-1.4 La cusum estandarizada 417
  - 8-1.5 Subgrupos racionales 418
  - 8-1.6 Mejoramiento de la respuesta de la cusum para corrimientos grandes 418
  - 8-1.7 La respuesta inicial rápida o característica de ventaja anticipada 419

## **xvi**    **CONTENIDO**

- 8-1.8 Cusums unilaterales **421**
- 8-1.9 Una cusum para monitorear la variabilidad del proceso **421**
- 8-1.10 Cusums para otros estadísticos muestrales **422**
- 8-1.11 El procedimiento de la máscara V **423**
- 8-2 La carta de control del promedio móvil ponderado exponencialmente **425**
  - 8-2.1 La carta de control del promedio móvil ponderado exponencialmente (EWMA) para monitorear la media del proceso **426**
  - 8-2.2 Diseño de una carta de control EWMA **431**
  - 8-2.3 Subgrupos racionales **432**
  - 8-2.4 Robustez del EWMA para la no normalidad **432**
  - 8-2.5 Extensiones del EWMA **433**
- 8-3 La carta de control del promedio móvil **437**
- 8-4 Ejercicios **440**

### **CAPÍTULO 9**

#### **Otras técnicas de monitoreo y control estadístico de procesos con una sola variable 443**

- 9-1 Control estadístico de procesos para corridas de producción cortas **444**
  - 9-1.1 Cartas de control  $\bar{x}$  y  $R$  para corridas de producción cortas **444**
  - 9-1.2 Cartas de control de atributos para corridas de producción cortas **447**
  - 9-1.3 Otros métodos **448**
- 9-2 Cartas de control modificadas y de aceptación **449**
  - 9-2.1 Límites de control modificados para la carta  $\bar{x}$  **449**
  - 9-2.2 Cartas de control de aceptación **453**
- 9-3 Cartas de control para procesos de flujos múltiples **454**
  - 9-3.1 Procesos de flujos múltiples **454**
  - 9-3.2 Cartas de control grupales **455**
  - 9-3.3 Otros enfoques **457**
- 9-4 SPC con datos de procesos autocorrelacionados **458**
  - 9-4.1 Fuentes y efectos de autocorrelación en datos de procesos **458**

- 9-4.2 Enfoques basados en modelos **462**
- 9-4.3 Un enfoque sin modelo **473**
- 9-5 Procedimientos de muestreo adaptables **478**
- 9-6 Diseño económico de cartas de control **479**
  - 9-6.1 El diseño de una carta de control **479**
  - 9-6.2 Características del proceso **480**
  - 9-6.3 Parámetros del costo **481**
  - 9-6.4 Trabajos iniciales y diseño semieconómico **482**
  - 9-6.5 Un modelo económico de la carta de control  $\bar{x}$  **484**
  - 9-6.6 Otros trabajos **493**
- 9-7 Visión breve de otros procedimientos **494**
  - 9-7.1 Desgaste de herramientas **494**
  - 9-7.2 Cartas de control basadas en otros estadísticos muestrales **495**
  - 9-7.3 Problemas de control de llenado **496**
  - 9-7.4 Precontrol **497**
- 9-8 Ejercicios **499**

### **CAPÍTULO 10**

#### **Monitoreo y control de procesos con variables múltiples 507**

- 10-1 El problema del control de calidad con variables múltiples **508**
- 10-2 Descripción de datos de variables múltiples **510**
  - 10-2.1 La distribución normal de variables múltiples **510**
  - 10-2.2 El vector de la media muestral y la matriz de covarianza muestral **511**
- 10-3 La carta de control  $T^2$  de Hotelling **512**
  - 10-3.1 Datos subagrupados **512**
  - 10-3.2 Observaciones individuales **522**
- 10-4 La carta de control EWMA para variables múltiples **526**
- 10-5 Ajuste de regresión **529**
- 10-6 Cartas de control para monitorear la variabilidad **532**
- 10-7 Métodos de estructura latente **535**
  - 10-7.1 Componentes principales **535**
  - 10-7.2 Mínimos cuadrados parciales **542**
- 10-8 Ejercicios **542**

**CAPÍTULO 11****Ingeniería de control de procesos (EPC) y SPC 546**

- 11-1 Monitoreo del proceso y regulación del proceso 547
- 11-2 Control del proceso por ajuste de retroalimentación 548
  - 11-2.1 Un esquema de ajuste simple: el control integral 548
  - 11-2.2 La carta de ajuste 555
  - 11-2.3 Variantes de la carta de ajuste 557
  - 11-2.4 Otros tipos de controladores de retroalimentación 561
- 11-3 Combinación del SPC y el EPC 562
- 11-4 Ejercicios 566

**PARTE IV****Diseño y mejora de procesos con experimentos diseñados 569****CAPÍTULO 12****Experimentos factoriales y factoriales fraccionados para el diseño y mejora de procesos 571**

- 12-1 ¿Qué es el diseño experimental? 572
- 12-2 Ejemplos de experimentos diseñados en el mejoramiento de procesos 573
- 12-3 Pautas para el diseño de los experimentos 577
- 12-4 Experimentos factoriales 579
  - 12-4.1 Un ejemplo 582
  - 12-4.2 Análisis estadístico 583
  - 12-4.3 Análisis de residuales 588
- 12-5 El diseño factorial  $2^k$  591
  - 12-5.1 El diseño  $2^2$  591
  - 12-5.2 El diseño  $2^k$  para  $k \geq 3$  factores 598
  - 12-5.3 Una sola réplica del diseño  $2^k$  611
  - 12-5.4 Adición de puntos centrales en el diseño  $2^k$  615
  - 12-5.5 Separación en bloques y confusión (mezclado) en el diseño  $2^k$  620
- 12-6 Réplicas fraccionadas del diseño  $2^k$  622
  - 12-6.1 La fracción un medio del diseño  $2^k$  622
  - 12-6.2 Fracciones menores: el diseño factorial fraccionado  $2^{k-p}$  628
- 12-7 Ejercicios 635

**CAPÍTULO 13****Optimización de procesos con experimentos diseñados 639**

- 13-1 Métodos y diseños de superficie de respuesta 640
  - 13-1.1 El método del ascenso más pronunciado 642
  - 13-1.2 Análisis de una superficie de respuesta de segundo orden 645
- 13-2 Estudios de robustez de procesos 651
  - 13-2.1 Antecedentes 651
  - 13-2.2 El enfoque de la superficie de respuesta para los estudios de robustez de procesos 653
- 13-3 Operación evolutiva 662
- 13-4 Ejercicios 668

**PARTE V****Muestreo de aceptación 673****CAPÍTULO 14****Muestreo de aceptación lote por lote para atributos 675**

- 14-1 El problema del muestreo de aceptación 676
  - 14-1.1 Ventajas y desventajas del muestreo 677
  - 14-1.2 Tipos de planes de muestreo 678
  - 14-1.3 Formación de lotes 679
  - 14-1.4 Muestreo aleatorio 680
  - 14-1.5 Lineamientos para usar el muestreo de aceptación 680
- 14-2 Planes con una sola muestra para atributos 682
  - 14-2.1 Definición de un plan con una sola muestra 682
  - 14-2.2 La curva OC 682
  - 14-2.3 Diseño de un plan de una sola muestra con una curva OC especificada 689
  - 14-2.4 Inspección con rectificación 690
- 14-3 Muestreo doble, múltiple y secuencial 694
  - 14-3.1 Planes de muestreo doble 694
  - 14-3.2 Planes de muestreo múltiple 701
  - 14-3.3 Planes de muestreo secuencial 701
- 14-4 Military Standard 105E (ANSI/ASQC Z1.4, ISO 2859) 705

## **xviii** CONTENIDO

14-4.1 Descripción del estándar	705
14-4.2 Procedimiento	707
14-4.3 Discusión	712
14-5 Los planes de muestreo de Dodge-Romig	714
14-5.1 Planes AOQL	716
14-5.2 Planes LTPD	716
14-5.3 Estimación del promedio del proceso	719
14-6 Ejercicios	719

## **CAPÍTULO 15**

### **Otras técnicas de muestreo de aceptación 722**

15-1 Muestreo de aceptación por variables	723
15-1.1 Ventajas y desventajas del muestreo por variables	723
15-1.2 Tipos de planes de muestreo existentes	724
15-1.3 Precauciones en el uso del muestreo por variables	725
15-2 Diseño de un plan de muestreo por variables con una curva OC especificada	726
15-3 MIL STD 414 (ANSI/ASQC Z1.9)	729
15-3.1 Descripción general del estándar	729
15-3.2 Uso de las tablas	730
15-3.3 Discusión del MIL STD 414 y el ANSI/ASQC Z1.9	733
15-4 Otros procedimientos de muestreo por variables	734
15-4.1 Muestreo por variables para dar seguridad acerca de la media del lote o proceso	734
15-4.2 Muestreo secuencial por variables	735

15-5 Muestreo en cadena	735
15-6 Muestreo continuo	737
15-6.1 CSP-1	738
15-6.2 Otros planes de muestreo continuo	740
15-7 Planes de muestreo por salto de lotes	741
15-8 Ejercicios	745

### **Apéndice 749**

I. Resumen de las distribuciones de probabilidad comunes usadas en el control estadístico de calidad	751
II. Distribución normal estándar acumulada	752
III. Puntos porcentuales de la distribución $\chi^2$	754
IV. Puntos porcentuales de la distribución $t$	755
V. Puntos porcentuales de la distribución $F$	756
VI. Factores para construir cartas de control para variables	761
VII. Factores para límites de tolerancia normales bilaterales	762
VIII. Factores para límites de tolerancia normales unilaterales	763
IX. Números aleatorios	764

### **Bibliografía 765**

### **Respuestas de ejercicios seleccionados 777**

### **Índice 791**