

Contenido

1. Introducción

1. Repaso histórico. 1
2. Lo que puede hacer el control estadístico de calidad. 9
3. Consideraciones acerca de este libro. 11
4. Referencias seleccionadas. 12

Parte I. FUNDAMENTOS

2. Probabilidad

15

1. Un viejo juego de azar. 15
2. Probabilidad. 16
3. Aleatoriedad. 18
4. ¿Cómo tomar una muestra al azar? 19
5. ¿Cuándo está funcionando un Proceso en forma aleatoria? 22
6. Probabilidades empíricas. 24
7. Predicción de las frecuencias relativas. 25
8. Dos teoremas importantes. 25
9. Teorema de Bayes. 31
10. Permutaciones y combinaciones. 32
11. Problemas 34
12. Referencias seleccionadas. 38

3. Distribución por frecuencia de datos de muestras

39

1. Tipos de datos. 39
2. Construcción de una distribución por frecuencias. 40
3. Características de una distribución por frecuencias. 47
4. Medición de las características de una distribución. 47
5. Análisis de datos exploratorio. 63

6. Problemas. 70
7. Referencias seleccionadas. 76

4. Distribución por frecuencias de un universo. 77

1. Distribuciones de universos finitos. 77
2. Distribución de los universos infinitos. 78
3. Fórmulas para las distribuciones de universos infinitos. 79
4. Distribuciones de frecuencia relativa como distribuciones de probabilidad. 84
5. Algunas distribuciones importantes de variables discretas. 87
6. Algunas distribuciones importantes de variables continuas. 93
7. Algunas interrelaciones entre las diferentes distribuciones. 96
8. Desigualdad de Tchebychev. 102
9. Predicción de lo que hará un proceso. 103
10. Distribución de sumas y diferencias. 104
11. Distribuciones de productos y cocientes. 106
12. Problemas. 109
13. Referencias seleccionadas. 116

5. Distribución de muestreo de una Proporción o fracción. 117

1. Distribución de muestreo de una proporción o fracción. 118
2. Problemas. 122
3. Referencias seleccionadas. 123

6. Otras distribuciones importantes de muestreo. 125

1. Distribución por muestreo de una media aritmética. 126
2. Distribución por muestreo de una variancia y una desviación estándar. 132
3. Distribución por muestreo de la amplitud en una muestra pequeña de un universo normal. 140
4. Las muestras más grande y más pequeña como "Límites de tolerancia" para los valores individuales de un universo. 142
5. Un intervalo de predicción para un resultado de muestra futura dada una muestra actual. 144
6. Distribución por muestreo de la estadística. 145
7. Estadística especial basada en la amplitud. 147
8. Problemas. 148
9. Referencias seleccionadas. 154

Parte II. PROCESOS DE MUESTREO PARA ACEPTACION DE LOTES

7. Muestreo de aceptación por atributos: Procesos de muestreo sencillo. 157

1. Muestreo de aceptación. 157
2. Fracción defectuosa en los Procesos de muestreo por atributos. 159

3.	Procesos de muestreo de aceptación con muestra sencilla y defectos por unidad. 174	
4.	Preparación de lotes para inspección. 175	
5.	Problemas. 176	
6.	Referencias seleccionadas. 178	
8.	Muestreo de aceptación por atributos: Procesos de muestreo doble y secuencial por fracción defectuosa	179
1.	Procesos de muestreo doble. 179	
2.	Procesos de muestreo secuencial elemento por elemento. 189	
3.	Procesos secuencial en conjunto y de muestreo múltiple. 194	
4.	Problemas. 195	
5.	Referencias seleccionadas. 197	
9.	Muestreo de aceptación por atributos: Muestreo múltiple por fracción defectuosa	199
1.	Métodos para describir los Procesos de muestreo múltiple. 199	
2.	Cálculo de la curva CO para un Proceso de muestreo múltiple. 200	
3.	Cálculo de la curva ASN para un Proceso de muestreo múltiple. 203	
4.	Diseño de un Proceso de muestreo múltiple con p'_1 , p'_2 , α y β específicos. 203	
5.	Problemas. 206	
6.	Referencias seleccionadas. 208	
10.	Muestreo de aceptación por atributos: Normas Mil. Std. 105D del Departamento de la Defensa (E.U.A.) y ANSI/ASQC Std. Z1.4 e ISO Std. 2859.	209
1.	Descripción de la norma Military Standard 105D. 209	
2.	Texto de Military Standard 105D. 215	
3.	Consideraciones sobre la Military Standard 105D. 222	
4.	Norma ANSI/ASQC Z1.4-1981. 243	
5.	Norma ISO 2859, International organization for standarization. 246	
6.	Norma propuesta ANSI/ASQC para un programa de muestreo por atributos con salto de lote. 246	
7.	Problemas. 247	
8.	Referencias seleccionadas. 248	
11.	Muestreo de aceptación por variables para controlar la fracción defectuosa: Desviación estándar conocida.	249
1.	Ventaja de los procesos de muestreo por variables. 249	
2.	Desventajas de los procesos de muestreo por variables. 249	
3.	Relación entre la media y la desviación estándar de un proceso o lote normalmente distribuido y su fracción defectuosa. 251	

4.	Procesos de muestreo por variables cuando los procesos o lotes están normalmente distribuidos y se conoce la desviación estándar.	254
5.	Proceso especial por atributos como alternativa de un proceso por variables cuando σ' es conocido.	264
6.	Muestreo por variables con lotes no normales de forma conocida.	265
7.	Problemas.	266
8.	Referencias seleccionadas.	268
12.	Muestreo de aceptación por variables para controlar la fracción defectuosa: Desviación estándar desconocida	269
1.	Deducción de un proceso por variables con p'_1 , p'_2 , α y β especificados.	269
2.	Problemas.	282
3.	Referencias seleccionadas.	282
13.	Muestreo de aceptación por variables para controlar la fracción defectuosa: Norma Mil. Std. 414 y otras normas relacionadas	283
1.	Descripción de la Military Standard 414.	284
2.	Tablas de la norma.	286
3.	Discusión de la norma Military Standard 414.	294.
4.	Desviaciones de la norma Mil. Std. 414 en las nuevas normas de variables: ANSI/ASQC Z1.9-1980.	298
5.	Grado de conformidad de las nuevas normas de variables con las normas de atributos.	301
6.	Consideración especial.	305
7.	Problemas.	305
8.	Referencias seleccionadas.	306
14.	Temas especiales referentes al muestreo por lotes	307
1.	Identidad de las curvas CO.	307
2.	Comparación de eficiencias.	308
3.	Comparación de las características administrativas.	310
4.	Un problema.	330
5.	Referencias seleccionadas.	332
15.	Muestreo de aceptación por variables para dar seguridad en relación con la media o desviación estándar de un proceso o lote	333
1.	Procesos de muestreo lote por lote para dar seguridad en relación con la calidad media de un material: procesos basados en la media de la muestra con desviación estándar conocida.	334
2.	Procesos de muestreo lote por lote para dar seguridad en relación con la calidad media: desviación estándar del universo desconocida.	347
3.	Procesos de muestreo lote por lote para dar seguridad en relación con la variabilidad de un proceso o lote.	353

4. Inspección severa (o estricta) y abreviada. 356
5. Problemas. 357
6. Referencias seleccionadas. 360

Parte III. INSPECCION RECTIFICADORA

- 16. Inspección rectificadora para muestreo lote por lote. 363**
1. Procesos de inspección rectificadora en los que se prevé la inspección al 100 por ciento de los lotes rechazados. 364
 2. Procesos de inspección rectificadora con menos del 100 por ciento de inspección de los lotes rechazados. 381
 3. Problemas. 382
 4. Referencias seleccionadas. 386
- 17. Procedimientos de muestreo para producción continua. 387**
1. Dificultades con los procedimientos (o procesos) lote por lote cuando la producción es continua. 387
 2. Procedimientos de muestreo continuo para inspección por atributos. 388
 3. Problemas. 403
 4. Referencias seleccionadas. 404

Parte IV. DIAGRAMA DE CONTROL

- 18. Teoría general de los diagramas de control. 407**
1. Causas de la variación en calidad. 407
 2. Teoría de los diagramas de control. 408
 3. Límites de control. 412
 4. Curva característica de operación para un diagrama de control. 415
 5. Tamaño de la muestra y frecuencia del muestreo para control actual. 415
 6. Subagrupamiento. 417
 7. Teoría de las tandas o corridas en los datos aleatorios. 418
 8. Resumen de los criterios de fuera de control. 424
 9. Problemas. 425
 10. Referencias seleccionadas. 425
- 19. Diagramas de control para fracción defectuosa (diagrama p) 427**
1. Trazado de un diagrama p , con n constante. 427
 2. Operación y revisión del diagrama p . 431
 3. Diagramas p con n variable. 435
 4. La curva CO para un diagrama p utilizado para controlar la producción en curso. 438
 5. La curva ARL para un diagrama p de un sólo límite empleado para controlar la producción en curso. 439

6. Tamaño de la muestra y frecuencia del muestreo para control en curso. 441
7. La función CO para un diagrama p utilizado para analizar datos anteriores. 444
8. Diagramas p y pruebas χ^2 . 445
9. Problemas. 446
10. Referencias seleccionadas. 450

20. Diagrama de control para el número de defectos por unidad (Diagramas c y Diagramas u). 451

1. Ejemplos del uso. 451
2. Distribución de muestreo del número de defectos por unidad. 451
3. Construcción y operación de un diagrama c con una muestra de tamaño constante. 453
4. La curva CO para un diagrama c con un tamaño constante de muestra. 456
5. La curva ARL para un diagrama c de un sólo límite con muestra de tamaño constante para controlar producción en curso. 456.
6. Determinación del tamaño de la muestra a los fines de un control en curso. 459
7. Diagramas u . 460
8. Diagrama u con muestra de tamaño variable. 460
9. Diagramas c , diagramas u y pruebas χ^2 . 462
10. Problemas. 463
11. Referencias seleccionadas. 465

21. Diagramas de control de variables 467

1. Diagramas \bar{X} . 468
2. Diagramas R . 468
3. Construcción y operación de diagramas \bar{X} y R . 470
4. Diagramas suplementarios de elementos individuales. 476
5. Características operativas de los diagramas \bar{X} y R . 478
6. Curvas ARL para diagramas \bar{X} y R usados para controlar producción en curso. 482
7. Trazado de diagramas \bar{X} y R para el control actual. 486
8. Diagramas \bar{X} y R contra diagramas p . 489
9. Diagramas de control para elementos individuales. 491
10. Otros diagramas de control de variables. 493
11. Alternativas al análisis de los diagramas de control de variables. 495
12. Estudios de capacidad del proceso. 495
13. Problemas. 497
14. Referencias seleccionadas. 502

22. Diagramas de control de sumas acumulativas (CUSUM) 503

1. La ventaja de marcar las sumas acumulativas. 503
2. Un procedimiento unilateral para decisión. 505
3. Un procedimiento bilateral para decisión. 508
4. Diseño de un diagrama Cusum y mascarilla en V. 513

5. Comparación de los diagramas Cusum y Shewhart. 516
6. Otros diagramas Cusum. 519
7. Formas especiales de mascarillas Cusum y otros métodos Cusum más especializados. 519
8. Problemas. 523
9. Referencias seleccionadas. 525

23. Procesos y procedimientos especiales 527

1. Diagramas de control de aceptación. 527
2. Diagramas de control de diferencias. 531
3. El método "LOT PLOT". 532
4. Papel de probabilidad binomial (BIPP). 539
5. Diagramas de promedio móvil y de amplitud móvil. 541
6. Problemas. 542
7. Referencias seleccionadas. 544

Parte V. ALGUNAS ESTADISTICAS UTILES EN LA INVESTIGACION INDUSTRIAL

24. Estimación de las características de un lote o proceso 545

1. Estimación del punto. 547
2. Intervalos de confianza. 552
3. Problemas. 566
4. Referencias seleccionadas. 569

25. Pruebas de hipótesis relacionadas con las proporciones, medias y variancias 571

1. Teoría de la comprobación de hipótesis. 571
2. Pruebas de hipótesis correspondientes a una fracción defectuosa. 572
3. Pruebas de hipótesis correspondientes a la media del universo. 576
4. Pruebas de hipótesis correspondientes a la variancia o desviación estándar. 581
5. Seguir pasos para la comprobación de las hipótesis. 583
6. Determinación del tamaño de la muestra. 584
7. Una cuestión de lógica. 588
8. Problemas. 588
9. Referencias seleccionadas. 592

26. Pruebas correspondientes a la diferencia entre dos proporciones medias o variancias 593

1. Pruebas correspondientes a la diferencia entre dos proporciones. 593
2. Pruebas correspondientes a la diferencia entre dos medias. 596
3. Pruebas correspondientes a la relación de dos variancias. 607

4. Problemas. 613
5. Referencias seleccionadas. 618

27. Pruebas de normalidad **619**

1. Métodos gráficos. 619
2. Las pruebas χ^2 de adecuación de ajuste. 619
3. Uso de las medidas de asimetría y curtosis. 622
4. Problemas. 628
5. Referencias seleccionadas. 629

28. Tablas de contingencia y pruebas χ^2 **631**

1. Tablas 2×2 . 631
2. Tablas $r \times c$. 635
3. Pruebas de homogeneidad en un conjunto de porcentajes. 637
4. Comparación de defectos por unidad y otras variables de Poisson. 639
5. Las características de operación de las pruebas χ^2 . 641
6. Problemas. 644
7. Referencias seleccionadas. 646

29. Análisis de variancia-I **647**

1. Análisis de variancia para una clasificación unidireccional. 647
2. Análisis de la variancia para una clasificación bidireccional con un solo caso en cada clase. 668
3. Problemas. 676
4. Referencias seleccionadas. 680

30. Análisis de variancia-II **681**

1. Clasificación bidireccional con más de un caso, pero con igual número de ellos en cada clase. 681
2. Análisis de la variancia con una clasificación tridireccional, con un solo caso en cada clase. 698
3. Clasificaciones anidadas. 709
4. Supuestos que fundamentan el análisis de variancia. 713
5. Análisis de variancia versus los diagramas \bar{X} y R . 715
6. Problemas. 717
7. Referencias seleccionadas. 724

31. Análisis suplementarios y asociados con el análisis de variancia **725**

1. Análisis adicionales correspondientes a las medias. 725
2. Pruebas de homogeneidad de variancias. 739
3. Análisis de los componentes de la variancia. 741
4. Estimación de la precisión de los instrumentos de medición y de la variabilidad del producto. 759

5. Pruebas de homogeneidad general. 763
6. Problemas. 767
7. Referencias seleccionadas. 771

32. Regresión y correlación: Dos variables 773

1. Distribuciones bivariadas de frecuencias. 774
2. Características importantes de las distribuciones bivariadas de frecuencias y sus mediciones. 777
3. Estimación de la regresión de un universo y el error estándar de la estimación a partir de datos de muestra. 780
4. Ejemplo de datos no agrupados. 784
5. Ejemplo de datos agrupados. 786
6. Uso de la línea de regresión y del error estándar de estimación al efectuar estimaciones. 787
7. Errores del muestreo cuando el origen se encuentra en $X_2 = \bar{X}_2, X_1 = 0$. 790
8. El coeficiente de correlación. 795
9. Problemas. 799
10. Referencias seleccionadas. 803

33. Regresión y correlación: Tres y más variables 805

1. Regresiones trivariadas. 805
2. Regresiones que afectan a más de tres variables. 826
3. Regresiones no lineales. 832
4. Problemas. 841
5. Referencias seleccionadas. 846

34. Análisis de covariancia 847

1. Usos del análisis de covariancia. 847
2. Cómo contrarrestar los efectos dañinos mediante el análisis de covariancia. 848
3. Comparación de las pendientes de líneas de regresión. 861
4. Problemas. 875
5. Referencias seleccionadas. 878

35. Diseño de experimentos-I 879

1. Diseño de un experimento para analizar los efectos de un solo factor. 879
2. Diseño de un experimento para el análisis de los efectos de varios factores. 887
3. Problemas. 891
4. Referencias seleccionadas. 892

36. Diseño de experimentos-II

893

1. La confusión en los experimentos factoriales. 893
2. Repetición fraccional. 902
3. Problemas. 907
4. Referencias seleccionadas. 908

APENDICES**I. Demostraciones matemáticas y material técnico seleccionado**

911

- (1) Suma simbólica. 911
- (2) Demostración del método rápido para calcular la media aritmética. 913
- (3) Demostración del método rápido para calcular la desviación estándar. 914
- (4) Deducción de una fórmula para calcular μ_3 , 914
- (5) Deducción de una fórmula para calcular μ_4 , 915
- (6) Demostración de que la media de una distribución binomial es igual a p' si X/n es la variable. 916
- (7) Demostración de que la variancia de una distribución binomial es igual a $\frac{p'(1-p')}{n}$ si X/n es la variable, 916.
- (8) Demostración de que la media de una distribución de Poisson es igual a μ' . 917
- (9) Demostración de que la variancia de una distribución de Poisson es igual a μ' . 917
- (10) Deducción de la desigualdad de Tchebychev (o Chebyshev). 918
- (11) Demostración de que $E(X \pm Y) = E(X) \pm E(Y)$. 918
- (12) Demostración de que $E(XY) = E(X)E(Y)$ si X e Y son independientes. 919
- (13) Demostración de que $\sigma_{X \pm Y}^2 = \sigma_X^2 + \sigma_Y^2$ si X e Y son independientes. 919
- (14) Demostración de que $\sigma_{XY}^2 = \bar{Y}'^2 \sigma_X^2 + \bar{X}'^2 \sigma_Y^2 + \sigma_X'^2 \sigma_Y'^2$ si X y Y son independientes. 920
- (15) Esbozo de la demostración de que la distribución binomial puede aproximarse mediante la distribución normal. 920
- (16) Demostración de que la distribución de Poisson se aproxima a la distribución binomial si p' es pequeño y n grande. 922
- (17) Aproximaciones binomiales a la distribución hipergeométrica. 922
- (18) Diagramas I_Q de Leslie E. Simon. 923
- (19) Distribución tipo III de Karl Pearson. 924
- (20) Demostración de que $E(\bar{X}) = \bar{X}'$. 925
- (21) Demostración de que la variancia de \bar{X} es igual a σ'^2/n . 925
- (22) Demostración de que la media de s^2 es igual a σ'^2 . 926
- (23) Demostración de que la variancia de s^2 es igual a $\frac{1}{n} \left[\mu_4' - \frac{n-3}{n-1} \mu_2'^2 \right]$. 927
- (24) Demostración de que la desviación estándar de s es aproximadamente igual a $\frac{\sigma'}{\sqrt{2n}} \sqrt{\frac{\gamma_2'}{2} + 1}$. 928

- (25) Deducción de un método de muestreo secuencial unitario con p'_1 , p'_2 , α y β , dados. 929
- (26) Demostración de que s se encuentra entre p'_1 y p'_2 . 932
- (27) Deducción de un método de muestreo basado en \bar{X} en el cual la fracción defectuosa del lote es el criterio de aceptabilidad. Dados los p'_1 y p'_2 , α y β para el método; σ' conocido y constante, universo del tipo III y un solo límite de especificación de ingeniería. 933
- (28) Deducción de la curva CO para un método de muestreo basado en s . 936
- (29) Límites de confianza para σ'^2 y σ' cuando la muestra es grande y el universo no normal. 937
- (30) Límites de confianza para p' deducidos de los diagramas I_Q de Leslie E. Simon. 938
- (31) Método para probar la diferencia entre dos proporciones cuando las proporciones son relativamente pequeñas. 939
- (32) Las partes componentes de la suma total de cuadrados en un análisis de variancia de un factor simple. 941
- (33) Estimaciones de componentes de la variancia en un análisis de variancia de un solo factor. 942
- (34) Deducción de fórmulas prácticas para el uso en un análisis de variancia de un solo factor. 944
- (35) La prueba T^2 de Hotelling, para un modelo de análisis de variancia de efectos mezclados. 945
- (36) Deducción de una línea de regresión mediante el método de mínimos cuadrados. 947
- (37) Deducción de una fórmula para $\Sigma u_{1,2}^2$. 948
- (38) Para un universo normal bivariado, la pendiente de la línea de regresión de X_1 o X_2 , es $r'_{12}\sigma'_1/\sigma'_2$. 948
- (39) Estimación del plano de regresión de un universo mediante el método de mínimos cuadrados, variables p . 949
- (40) Errores estándares de estimación de los parámetros de regresión. 952
- (41) Demostración de que $R_{1,23}^2 = r_{12}^2 + r_{13}^2$ si $r_{23} = 0$. 954
- (42) El método de regresión para el análisis de variancia y de covariancia. 954

II. Tablas y diagramas especiales

965

Notas acerca de las tablas. 965

- Tabla A1* Ordenadas de la distribución de probabilidad normal. 967
- Tabla A2* Probabilidades acumulativas de la distribución de probabilidad normal. 968
- Tabla B* Puntos de porcentaje de la distribución t . 969
- Tabla C* Puntos de porcentaje de la distribución χ^2 . 970
- Tabla D1* Puntos de porcentaje de la distribución de la amplitud relativa $w = R/\sigma'$, universo normal. 971
- Tabla D2* Puntos 0.05 superiores de la distribución de la amplitud estudentizada, $q = \frac{(X_U - X_L)}{s_r}$. 972
- Tabla D3* Valores asociados con la distribución de la amplitud promedio. 973

- Tabla E* Suma de los términos de la distribución de Poisson. 974
- Tabla F* Puntos 0.05 y 0.01 de la distribución de γ_1 , universo normal. 979
- Tabla G* Puntos de porcentaje de la distribución de γ_2 , universo normal. 980
- Tabla H* Puntos de porcentaje de la distribución de $\alpha = AD/RMSD$, universo normal. 981
- Tabla J* Puntos de porcentaje de la distribución F . 982
- Tabla K* Valores para probar los efectos principales fijos de un modelo mezclado. 988
- Tabla L* Puntos 0.10 de las curvas CO para una prueba de una cola de la hipótesis $\sigma'_1 = \sigma'_2$, universo normal, $\alpha = 0.05$. 990
- Tabla M* Factores útiles en la construcción de los diagramas de control. 991
- Tabla N1* Tabla para probar la aleatoriedad de la agrupación en una secuencia de alternativas, ($P = 0.005$). 993
- Tabla N2* Tabla para probar la aleatoriedad de la agrupación en una secuencia de alternativas, ($P = 0.05$). 993
- Tabla N3* Valores límites para el número total de elementos arriba y abajo de la mediana de un conjunto de valores. 994
- Tabla P* Valores límites para longitudes de elementos en ambos lados de la mediana en n casos. 995
- Tabla Q* Valores límites para las longitudes de corridas arriba y abajo en una serie de n números. 995
- Tabla R* Cualidades características de pruebas secuenciales de la distribución binomial calculadas para varias combinaciones de $p'_1, p'_2, \alpha = 0.05$ y $\beta = 0.10$. 996
- Tabla S* Puntos 0.05 superiores de la distribución de Λ_0 . 997
- Tabla T* Punto 0.05 superior de la razón s_{max}^2/s_{min}^2 . 998
- Tabla U* Puntos superiores de porcentaje de la desviación studentizada extrema desde una media de muestra $(X_H - \bar{X})/s_i$ o bien $(\bar{X} - X_L)/s_i$: universo normal. 999
- Tabla W* Criterios y valores críticos para probar un valor extremo. 1000
- Tabla Y* Tabla de $\lambda\sqrt{n}$ correspondiente a varias probabilidades. 1001
- Diagrama I* Puntos de 10 y 50 por ciento de las curvas características de operación de pruebas F del análisis de variancia de efectos fijos $\alpha = 0.05$. 1002
- Diagrama II* Puntos de 10 y 50 por ciento de las curvas características de operación de pruebas F del análisis de variancia de efectos fijos, $\alpha = 0.01$. 1002
- Tabla Z* Puntos 5 por ciento superiores del coeficiente de correlación múltiple de muestra. 1003
- Tabla AA* Logaritmos comunes de números, con cuatro cifras. 1005
- Tabla BB* Cuadrados de los números. 1007
- Tabla CC* Logaritmos de factoriales. 1009
- Tabla DD* Números aleatorios III y IV. 1011 y 1012

III. Glosario de símbolos	1013
IV. Glosario de términos técnicos especiales	1021
V. Lista acumulada de referencias	1029
VI. Lista general de obras de consulta	1063
Indice	1065